

Aus dem Institut für Pathologie  
der Medizinischen Fakultät der Charité - Universitätsmedizin Berlin

## **DISSERTATION**

### **Telematik und Telemedizin zur Verbesserung der präklinischen Notfallversorgung nach Straßenverkehrsunfällen**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum medicarum (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
der Charité - Universitätsmedizin Berlin

von Dipl. Ing. Matthias Michael Issing  
aus Berlin

Gutachter:

1. Prof. Dr. med. Manfred Dietel
2. Priv.-Doz. Dr. med. Hermann J. Bail
3. Prof. Dr. Wilfried Hendricks

Datum der Promotion: 15.05.2006

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung.....</b>	<b>15</b>
<b>1 Ausgangslage und Stand der Forschung .....</b>	<b>19</b>
1.1 Einflussfaktoren auf das Outcome in der präklinischen Notfallversorgung .....	19
1.1.1 Einflussfaktor: Zeit vom Unfall bis zur Hilfeleistung .....	20
1.1.1.1 Zeitabschnitte in der Rettungskette .....	20
1.1.1.2 Therapiefreies Intervall.....	21
1.1.1.3 Einfluss des therapiefreien Intervalls auf das Outcome .....	23
1.1.2 Einflussfaktor: Laienhilfe .....	24
1.1.2.1 Hilfsbereitschaft in Notfallsituationen.....	24
1.1.2.2 Qualität der Laienhilfe.....	25
1.1.2.3 Einfluss der Laienhilfe auf das Outcome .....	26
1.1.3 Einflussfaktor: Art des Rettungsmittels .....	26
1.1.3.1 Dispositionsentscheidung in der Rettungsleitstelle .....	27
1.1.3.2 Einfluss des Rettungsmittels auf das Outcome.....	28
1.2 Telematische und telemedizinische Technologien in der präklinischen Notfallversorgung .....	29
1.2.1 Automatische Notrufsysteme .....	30
1.2.1.1 Status Quo - automatische Notrufsysteme.....	30
1.2.1.2 eMERGE-Rahmenarchitektur .....	31
1.2.1.3 Ansätze zur Prognose der Verletzungsintensität und Unterstützung der Dispositionsentscheidung .....	34
1.2.2 Telemedizinische Unterstützung von Laien.....	37
1.2.2.1 Steigerung der Hilfsbereitschaft durch telemedizinische Unterstützung.....	37
1.2.2.2 Verbesserung der Qualität und Effektivität der Laienhilfe .....	38
1.3 Voruntersuchung: Einfluss einer telemedizinischen Unterstützung von Laien auf die Hilfsbereitschaft nach Straßenverkehrsunfällen.....	40
1.3.1 Stand der Forschung zum Hilfeverhalten und zur Hilfsbereitschaft.....	40
1.3.2 Zielsetzung der Voruntersuchung .....	42
1.3.3 Methodik der Voruntersuchung .....	42
1.3.4 Ergebnisse der Voruntersuchung .....	45
1.3.5 Diskussion der Ergebnisse der Voruntersuchung .....	51

<b>2 Zielsetzungen.....</b>	<b>53</b>
2.1 Vorgaben zu Systemfunktionen und zur Systemarchitektur .....	53
2.2 Fragestellungen .....	55
2.2.1 Telematische Prognose der Verletzungsintensität und Ableitung einer Dispositionsempfehlung.....	56
2.2.2 Telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen.....	56
<b>3 Methodik.....</b>	<b>57</b>
3.1 Entwicklung von Modellen zur telematischen Prognose der Verletzungsintensität.....	57
3.1.1 Datengrundlage und Variablenauswahl .....	62
3.1.1.1 NASS/CDS-Datenbank .....	63
3.1.1.2 GIDAS-Datenbank .....	64
3.1.1.3 Variablenauswahl .....	65
3.1.2 Datenaufbereitung .....	70
3.1.3 Prognoseverfahren und Modellerstellung .....	73
3.1.3.1 Logistische Regression .....	74
3.1.3.2 Entscheidungsbauminduktion.....	78
3.1.3.3 Vorgehensweise zur Erstellung der Prognosemodelle .....	80
3.1.4 Bewertung und Vergleich der Leistungsfähigkeit der Prognosemodelle....	82
3.1.5 Klassifikation zur Dispositionsempfehlung .....	88
3.2 Untersuchung der Anforderungen zur telemedizinischen Unterstützung von Laien bei Erste-Hilfe-Maßnahmen .....	92
3.2.1 Datenaufbereitung.....	93
3.2.2 Bestimmung der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen .....	95
3.2.3 Vergleich zwischen indizierten und durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen.....	99
3.2.4 Ermittlung der Relevanz einzelner Funktionen einer telemedizinischen Unterstützung .....	100
3.2.5 Untersuchung der Effekte der Laienhilfe.....	102
<b>4 Ergebnisse.....</b>	<b>105</b>
4.1 Modelle zur telematischen Prognose der Verletzungsintensität.....	105
4.1.1 Datenaufbereitung.....	105
4.1.2 Vorauswertung der Daten .....	107
4.1.3 Logistische Regression .....	114
4.1.4 Entscheidungsbauminduktion .....	124
4.1.5 Gegenüberstellung der Verfahren und Prognosemodelle .....	130
4.1.6 Beispielhafte Bestimmung eines Arbeitspunktes für die Dispositionsempfehlung.....	132

4.2 Anforderungen zur telemedizinischen Unterstützung von Laien bei Erste-Hilfe-Maßnahmen .....	136
4.2.1 Typische Verletzungen und pathophysiologische Zustände der Unfallopfer nach Straßenverkehrsunfällen .....	136
4.2.2 Indizierte Erste-Hilfe-Maßnahmen .....	142
4.2.3 Vergleich zwischen indizierten und von Laien durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen.....	147
4.2.4 Relevanz einzelner Funktionen einer telemedizinischen Unterstützung ..	150
4.2.5 Effekte der Laienhilfe .....	153
<b>5 Diskussion.....</b>	<b>161</b>
5.1 Telematische Prognose der Verletzungsintensität.....	162
5.1.1 Verfahren zur Prognose der Verletzungsintensität .....	164
5.1.2 Eingangsgrößen, Prognosegüte und Dispositionsempfehlung.....	167
5.2 Telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen .....	174
5.2.1 Typische Verletzungsmuster, pathophysiologische Zustände und indizierte Erste-Hilfe-Maßnahmen .....	177
5.2.2 Erste-Hilfe-Maßnahmen von Laien (Status Quo) .....	180
5.2.3 Funktionen des telemedizinischen Notfallkoffers.....	181
5.2.4 Nutzen der Laienhilfe und möglicher Nutzen des telemedizinischen Notfallkoffers .....	184
5.3 Lösungsansatz für ein Telemedizinsystem.....	189
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>201</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>203</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>213</b>
<b>Erklärung .....</b>	<b>215</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.	Haddon-Matrix - Systematisierung der Maßnahmen zur Vermeidung von Verletzungen und zur Verbesserung der Versorgung von Unfallopfern nach einem Verkehrsunfall.....	16
Abb. 2.	Aufbau der Arbeit .....	17
Abb. 3.	Zeitabschnitte vom Unfall bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes im organisatorischen Rettungsablauf.....	21
Abb. 4.	Letalitätsverlauf bei verschiedenen vitalen Gefährdungen nach <i>Cara</i> .....	24
Abb. 5.	Treffgenauigkeit der Notarztindikationsentscheidung (Status Quo).....	28
Abb. 6.	eMERGE-Rahmenarchitektur.....	32
Abb. 7.	Architektur und Kommunikationsflüsse des Telemedizinssystems auf der Grundlage der eMERGE-Rahmenarchitektur.....	54
Abb. 8.	Prognosesystem mit Eingangs- und Ausgangsgrößen .....	57
Abb. 9.	Schematische Darstellung der Elemente des Prognosesystems.....	59
Abb. 10.	Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Entwicklung eines Prognosemodells.....	61
Abb. 11.	Unfalldatenbanken in Abhängigkeit von Erhebungsumfang und Informationstiefe; Repräsentativität und Aussagekraft stehen im Zielkonflikt .....	63
Abb. 12.	Vorgehensweise zur Filterung und Aufbereitung der Daten.....	70
Abb. 13.	Streudiagramm und logistische Funktion für die Verletzungswahrscheinlichkeit (MAIS 3 plus) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeitsänderung $dv_{total}$ .....	76
Abb. 14.	Beispielhafter Entscheidungsbaum .....	78
Abb. 15.	Klassifikationsmatrix (Confusion Matrix) .....	82
Abb. 16.	ROC-Diagramm mit diskreten Klassifikationsergebnissen .....	84
Abb. 17.	ROC-Diagramm mit kontinuierlichen Klassifikationsergebnissen.....	86
Abb. 18.	Bestimmung des Arbeitspunktes eines Prognosemodells für die Ableitung einer Dispositionsempfehlung.....	89
Abb. 19.	Kostenkoeffizienten unter Berücksichtigung der Kosten aus volkswirtschaftlicher Perspektive .....	91
Abb. 20.	Vorgehensweise zur Untersuchung der Anforderungen an die Funktionen eines telemedizinischen Notfallkoffers (TNK) und der erzielbaren Effekte durch eine telemedizinische Laienunterstützung.....	92
Abb. 21.	Ablauf zur Aufbereitung der Daten für die Auswertung der Verletzungen und Erste-Hilfe-Maßnahmen in der GIDAS-Datenbank.....	94

Abb. 22.	Zuordnungsmatrix zur Bestimmung der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen (beispielhafte Darstellung, Auszug).....	98
Abb. 23.	Aufbereitung der Daten der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank .....	106
Abb. 24.	Verteilung der Aufprallarten ( <i>dof</i> ) und Sitzpositionen ( <i>seatpos</i> ) in der NASS/CDS-Datenbank (nach Filter II) .....	107
Abb. 25.	Verteilung der Verletzungsintensität nach MAIS in den aufbereiteten Daten der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank.....	108
Abb. 26.	Bivariater Zusammenhang zwischen signifikanten metrischen Variablen ( <i>dvttotal</i> , <i>defamx</i> , <i>age</i> , <i>bmi</i> ) und der vorherzusagenden Variable <i>mais3p</i> mit logistischen Regressionsfunktionen, NASS/CDS-Datenbank.....	113
Abb. 27.	ROC-Kurven der logistischen Regressionsmodelle <i>N1</i> bis <i>N10</i> an der Trainings- und der Testmenge, NASS/CDS-Datenbank.....	117
Abb. 28.	ROC-Kurven der logistischen Regressionsmodelle <i>N3</i> und <i>N10</i> bis <i>N12</i> an der Trainings- und der Testmenge, NASS/CDS-Datenbank.....	118
Abb. 29.	ROC-Kurven der logistischen Regressionsmodelle <i>G1</i> bis <i>G3</i> , <i>G7</i> und <i>G8</i> an der Trainings- und der Testmenge, GIDAS-Datenbank.....	122
Abb. 30.	ROC-Kurven der Entscheidungsbaum-Modelle mit <i>C5</i> an der Trainings- und der Testmenge, NASS/CDS-Datenbank.....	125
Abb. 31.	ROC-Kurven der Entscheidungsbaum-Modelle mit <i>CART</i> an der Trainings- und der Testmenge, NASS/CDS-Datenbank.....	127
Abb. 32.	Entscheidungsbäume des Modells <i>N7 CART</i> für die Kostenverhältnisse (FN/FP): 2/1, 4/1, 8/1, 16/1, 32/1, 48/1.....	128
Abb. 33.	Entscheidungsbaum des Modells <i>N7 CART</i> für das Kostenverhältnis FN/FP = 32/1 .....	129
Abb. 34.	ROC-Kurven der Entscheidungsbaum-Modelle mit <i>CART</i> an der Trainings- und der Testmenge, GIDAS-Datenbank.....	129
Abb. 35.	Prognosemodelle mit den Eingangsvariablen <i>dvttotal</i> , <i>beltuse</i> und <i>intrus</i> auf Basis der logistischen Regression (LR) und der Entscheidungsbauminduktion ( <i>C5</i> bzw. <i>CART</i> ), NASS/CDS-Datenbank (oben), GIDAS-Datenbank (unten).....	131
Abb. 36.	Bestimmung des Arbeitspunktes der Prognosemodelle im ROC-Diagramm.....	132
Abb. 37.	Verteilung der Verletzungsschweregrade nach anatomisch (links) und physiologisch (rechts) orientierter Definition für leicht- und schwerverletzte Personen .....	138
Abb. 38.	Anzahl der Verletzungen pro Person bei MAIS 3 bis 5 verletzten Personen (n=635) bei Berücksichtigung aller Verletzungen (links) und nur bei Berücksichtigung der schweren Verletzungen AIS 3 bis 5 (rechts) .....	139
Abb. 39.	Art der indizierten Lagerung bei leichtverletzten (links) und schwerverletzten (rechts) Personen.....	147
Abb. 40.	Erste-Hilfe-Leistung in Abhängigkeit vom Verletzungsschweregrad .....	154



Abb. 41.	Vergleich der Leistungsfähigkeit der Prognosemodelle mit der Dispositionsentscheidung im Status Quo für Deutschland (Punkt A) und mit der Prognosegüte des URGENCY-Algorithmus an der NASS/CDS-Datenbank (Punkt B) .....	169
Abb. 42.	ROC-Kurven der Prognosemodelle mit den Eingangsvariablen <i>dvttotal</i> , <i>beltuse</i> und <i>intrus</i> für die Trainings- und die Testmenge der NASS/CDS-Datenbank sowie für die GIDAS-Datenbank als alternative Testmenge .....	172
Abb. 43.	Lösungsarchitektur des Telemedizinssystems ohne Einbeziehung der Rettungskräfte und Kliniken .....	190
Abb. 44.	Aktivitätsdiagramm für den Kommunikationsfluss zwischen den Elementen des Telemedizinssystems .....	193
Abb. 45.	Lösungsarchitektur des Telemedizinssystems mit Einbeziehung der Rettungskräfte und Kliniken .....	196
Abb. 46.	Erweiterung des Aktivitätsdiagramms bei Einbeziehung der Rettungskräfte und Kliniken .....	198



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	Ausprägung der Einflussfaktoren (ohne TNK) .....	45
Tabelle 2.	Bivariate Analyse der Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft (ohne TNK).....	46
Tabelle 3.	Multivariate Analyse der Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft (ohne TNK).....	47
Tabelle 4.	Ausprägung der Einflussfaktoren (mit TNK) .....	48
Tabelle 5.	Bivariate Analyse der Einflussfaktoren auf die Steigerung der Hilfsbereitschaft (mit TNK) .....	49
Tabelle 6.	Multivariate Analyse der Einflussfaktoren auf die Steigerung der Hilfsbereitschaft (mit TNK).....	50
Tabelle 7.	Verletzungsschweregrad nach AIS, Beispiele und Letalitätsraten .....	66
Tabelle 8.	Ausgewählte Variablen aus der NASS/CDS- und GIDAS-Datenbank als Eingangsgrößen für die Prognosemodelle .....	67
Tabelle 9.	Gruppenzuordnung der Variablen nach Erfassbarkeit .....	69
Tabelle 10.	Filtervariablen und Ausprägungen.....	72
Tabelle 11.	Verfahren zur Entwicklung von Prognosemodellen .....	74
Tabelle 12.	Verletzungsgruppen .....	96
Tabelle 13.	Pathophysiologische Zustände .....	97
Tabelle 14.	Katalog der Erste-Hilfe-Maßnahmen.....	97
Tabelle 15.	Zusammenfassung der Maßnahmen zum Vergleich indiziert/ durchgeführt.....	99
Tabelle 16.	Bewertung der Bedeutung der TNK-Funktionen zur Unterstützung der Erste-Hilfe-Maßnahmen (Auszug).....	102
Tabelle 17.	Variablen für die Analyse des Einflusses von Erste-Hilfe-Leistungen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit .....	104
Tabelle 18.	Häufigkeitsverteilung der nominalen Variablen (NASS/CDS- und GIDAS-Datenbank).....	109
Tabelle 19.	Lageparameter der metrischen Variablen (NASS/CDS- und GIDAS-Datenbank).....	109
Tabelle 20.	Bivariate Analyse, NASS/CDS-Datenbank .....	111
Tabelle 21.	Bivariate Analyse, GIDAS-Datenbank .....	112
Tabelle 22.	Kennzahlen der logistischen Regressionsmodelle, NASS/CDS-Datenbank .....	115
Tabelle 23.	Parameter des logistischen Regressionsmodells <i>N6</i> , NASS/CDS-Datenbank .....	119

Tabelle 24.	Parameter des logistischen Regressionsmodells <i>N7</i> , NASS/CDS-Datenbank .....	119
Tabelle 25.	Parameter des logistischen Regressionsmodells <i>N5</i> , NASS/CDS-Datenbank .....	119
Tabelle 26.	Kennzahlen der logistischen Regressionsmodelle, GIDAS-Datenbank .....	121
Tabelle 27.	Parameter des logistischen Regressionsmodells <i>G6</i> , GIDAS-Datenbank .....	123
Tabelle 28.	Parameter des logistischen Regressionsmodells <i>G7</i> , GIDAS-Datenbank .....	123
Tabelle 29.	Kennzahlen der Entscheidungsbaum-Modelle mit <i>C5</i> , NASS/CDS-Datenbank .....	124
Tabelle 30.	Kennzahlen der Entscheidungsbaum-Modelle mit <i>CART</i> , NASS/CDS-Datenbank .....	126
Tabelle 31.	Kennzahlen der Entscheidungsbaum-Modelle mit <i>CART</i> , GIDAS-Datenbank .....	128
Tabelle 32.	Ausgewählte Arbeitspunkte für das logistische Regressionsmodell <i>N7</i> .....	133
Tabelle 33.	Ausgewählte Entscheidungsbäume ( <i>CART</i> ) aus dem Modell <i>N7</i> .....	133
Tabelle 34.	Annahmen zur beispielhaften Bestimmung der Steigung der Iso-Kosten-Geraden .....	134
Tabelle 35.	Kostenkoeffizienten unter Berücksichtigung der Kosten aus volkswirtschaftlicher Perspektive .....	135
Tabelle 36.	Verletzungsschweregrad, Behandlung und Letalität verletzter Personen nach Straßenverkehrsunfällen, GIDAS .....	137
Tabelle 37.	Häufigkeit der Verletzungsgruppen in Abhängigkeit von der Stärke der Verletzung bezogen auf alle MAIS 3 bis 5 verletzten Personen.....	140
Tabelle 38.	Häufigkeit der Verletzungsgruppen sortiert innerhalb der Gruppe aller MAIS 2 bis 6 verletzten Personen.....	141
Tabelle 39.	Häufigkeit der pathophysiologischen Zustände .....	142
Tabelle 40.	Häufigkeit der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen, unabhängig von der Bedeutung für die vitale Gefährdung.....	143
Tabelle 41.	Häufigkeit der indizierten lebensrettenden Erste-Hilfe-Maßnahmen .....	144
Tabelle 42.	Häufigkeit der indizierten wichtigen Erste-Hilfe-Maßnahmen.....	145
Tabelle 43.	Gegenüberstellung der indizierten und durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen.....	148
Tabelle 44.	Relevanz der Grundfunktionen des TNK zur Unterstützung aller indizierten Maßnahmen.....	151
Tabelle 45.	Bewertung der Grundfunktionen des TNK (nur zur Unterstützung der lebensrettenden Maßnahmen) .....	152

Tabelle 46. Erste-Hilfe-Leistung in Abhängigkeit vom Verletzungsschweregrad .....	153
Tabelle 47. Letalitätsverteilung in Abhängigkeit vom Verletzungsschweregrad .....	155
Tabelle 48. Nicht-parametrische Korrelationskoeffizienten nach <i>Spearman Rho</i> mit der Variable Tod .....	155
Tabelle 49. Einflussfaktoren auf die Letalität (logistische Regression) .....	156
Tabelle 50. Letalitätsvergleich in Abhängigkeit der Durchführung von indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen.....	159
Tabelle 51. Kennzahlen zu den Prognosemodellen der Abbildung 42 (AUC-Werte mit Standardfehlern und 95%-Konfidenzintervallen).....	173



## Abkürzungsverzeichnis

AED	Automatisch Externer Defibrillator
AIS	Abbreviated Injury Scale
AUC	Area under ROC-Curve
CI	Konfidenzintervall
CLI	Caller Line Identification
CPR	Cardiopulmonary Resuscitation
CS	Communication Server
DB	Datenbank
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
ECU	Electronic Control Unit
ED	Emergency Data
EI	Emergency Informations
Exp(B)	Effekt-Koeffizient
FN/FP	Verhältnis der Fehlklassifikationskosten (False Negative/ False Positive)
FSD	Full Set of Data
GCS	Glasgow Coma Scale
GIDAS	German In-Depth Accident Study
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GTP	Global Telematic Protocol
HLW	Herz-Lungen-Wiederbelebung
IPS	Injury Prediction System
ISS	Injury Severity Score
IVS	In Vehicle System
MAIS	maximaler AIS-Wert
MCC	Medical Call Center
MCU	Mobile Communication Unit
MSD	Minimum Set of Data
MSP	Mobile Service Provider
NASS/CDS	National Accident Sampling System/ Crashworthiness Data System
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration

NOAH	Notfall-, Organisations- und Arbeitshilfe
OR	Odds Ratio
PSAP	Public Safety Access Point
PSU	Primary Sampling Unit
RCC	Rescue Call Center
RCS	Rescue Control System
ROC	Relative Operating Characteristic
SERR	Standardfehler
Sig.	Signifikanz
SP	Service Provider
TCS	Telemedical Control System
TNK	Telemedizinischer Notfallkoffer
TSP	Telemedical Service Provider
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System



# Einleitung

In Deutschland ereigneten sich im Jahr 2003 über 2 Mio. Straßenverkehrsunfälle, davon 354.440 mit Personenschaden. Es wurden dabei 376.466 Personen leicht und 85.586 Personen schwer verletzt. Durchschnittlich kam es damit in Deutschland pro Stunde zu 40 Verkehrsunfällen mit Personenschaden, bei denen zehn Personen schwer verletzt wurden. 6.618 Personen starben innerhalb von 30 Tagen nach dem Verkehrsunfall. Über die Hälfte der getöteten Personen (63%) starb aufgrund eines Verkehrsunfalls auf einer Landstraße, 25% aufgrund eines Unfalls auf einer Autobahn und 12% infolge eines Unfalls innerhalb einer Ortschaft [DESTATIS2003].

Verkehrsunfälle mit verletzten oder getöteten Personen führen nicht nur zu menschlichem Leid, sondern auch zu erheblichen Kosten für das Gesundheits- und Sozialsystem [BAST2004]. Vergleicht man den Verlust an Lebensarbeitsjahren aus volkswirtschaftlicher Perspektive zwischen verschiedenen Todesursachen unter den 45-jährigen, haben Verkehrsunfälle die größte ökonomische Bedeutung noch vor Karzinomen und Herz-Kreislauferkrankungen [Oestern1999].<sup>1</sup>

Die Europäische Kommission hat sich im Weißbuch zur europäischen Verkehrspolitik im September 2001 das Ziel gesetzt, die Zahl der Verkehrstoten in der Europäischen Union bis zum Jahr 2010 um die Hälfte zu verringern.<sup>2</sup> Die Zielsetzung wurde im Jahr 2003 in das 3. Europäische Aktionsprogramm für Straßensicherheit übernommen und es wurden Maßnahmen definiert, die in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union ergriffen werden sollen. Neben Maßnahmen zur Verbesserung der Straßeninfrastruktur und zur Verbesserung des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer stehen Maßnahmen zur Nutzung des technischen Fortschritts im Bereich der Fahrzeugsicherheit und zur Optimierung des Rettungswesens im Vordergrund. Im Frühjahr 2002 wurde von der Europäischen Union gemeinsam mit der Industrie die Initiative eSafety zur Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen im Bereich der Fahrzeugsicherheit durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien ins Leben gerufen. Teil der Initiative ist u. a. die Entwicklung eines Aktionsplans, der die europaweite Einführung eines automatischen Notrufsystems (eCall) in allen Fahrzeugen der Europäischen Union ab 2009 vorsieht [EU2003A, BVBW2003].

---

<sup>1</sup> Verkehrsunfälle führen in Deutschland zu einem gesellschaftlichen Verlust von 304.270 Arbeitsjahren und stehen damit deutlich vor Karzinomen (Verlust von 239.530 Arbeitsjahren) und Herz-Kreislauferkrankungen (Verlust von 164.000 Arbeitsjahren).

<sup>2</sup> Die Zielsetzung bezieht sich auf das Jahr 2001 mit insgesamt rund 39.684 getöteten Personen in den EU-15 Staaten. Die Halbierung der Getötetenzahlen ist nicht auf jeden einzelnen Mitgliedsstaat sondern auf die Gemeinschaft als Ganzes bezogen.

Eine Reduzierung der Anzahl der bei Verkehrsunfällen getöteten und verletzten Personen lässt sich grundsätzlich durch Maßnahmen erreichen, die geeignet sind, Unfälle zu vermeiden (Pre-Crash-Phase), während des Unfalls die beteiligten Personen vor Verletzungen zu schützen (Crash-Phase) oder die Unfallfolgen durch eine optimale Versorgung (Post-Crash-Phase) zu minimieren [Kramer1998]. Für die Systematisierung können die möglichen Maßnahmen zur Vermeidung von Verletzungen und zur Verbesserung der Versorgung von Unfallopfern in einer Matrix (Haddon-Matrix<sup>3</sup>, Abb. 1) bezüglich der Crash-Phasen und der möglichen Ansatzpunkte der Maßnahmen (Mensch, Fahrzeug, Umwelt) eingeteilt werden [Champion2004].

		Ansatzpunkte der Maßnahmen		
		Mensch	Fahrzeug	Umwelt
Crash-Phasen	<b>Pre-Crash</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alkoholkontrollen</li> <li>• Assistenzsysteme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ABS</li> <li>• Kollisionsvermeidung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrsführung</li> <li>• Straßenbeleuchtung</li> </ul>
	<b>Crash</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherheitsgurnutzung</li> <li>• Nutzung von Kindersitzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Airbag</li> <li>• Sicherheitsgurte</li> <li>• Seitenaufprallschutz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitplanken</li> <li>• Straßenbefestigung</li> </ul>
	<b>Post-Crash</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hilfsbereitschaft</li> <li>• Fähigkeiten zur Ersthilfe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatische Unfallmeldung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rettungsdienst</li> <li>• Hilfsfristen</li> <li>• Trauma Center</li> </ul>

**Abb. 1.** Haddon-Matrix - Systematisierung der Maßnahmen zur Vermeidung von Verletzungen und zur Verbesserung der Versorgung von Unfallopfern nach einem Verkehrsunfall [Champion2004]

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden Ansatzpunkte zur Minimierung der Unfallfolgen (Post-Crash-Phase) durch den Einsatz telematischer und telemedizinischer Technologien untersucht. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Optimierungsansätzen in der Rettungskette vom Unfall bis zum Eintreffen des professionellen Rettungsdienstes.

Um eine Verbesserung der Versorgung von Unfallopfern zu erreichen, müssen Ansätze aus dem Bereich der Fahrzeugtechnik und aus dem Bereich der Medizin inein-

<sup>3</sup> William Haddon, First Administrator of the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), USA

ander greifen. Die kritische Zeitspanne zwischen einem Verkehrsunfall und der klinischen Versorgung wird in der Fahrzeugtechnik als Post-Crash-Phase und in der Medizin als Prä-Klinik (präklinische Notfallversorgung) bezeichnet.

Im ersten Kapitel dieser Arbeit werden die wichtigsten Einflussfaktoren in diesem Abschnitt der Rettungskette auf die Überlebenswahrscheinlichkeit und die Rehabilitationsaussichten von verletzten Personen dargestellt und zwei Ansatzpunkte für den Einsatz von telematischen und telemedizinischen Technologien zur Optimierung der Versorgung der Unfallopfer identifiziert: (1) die telematische Prognose der Verletzungsintensität von Fahrzeuginsassen und (2) die telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen (vgl. Abb. 2). Für diese Ansätze werden der Stand der Forschung und die Ergebnisse einer eigenen Voruntersuchung beschrieben.

<b>Kapitel 1: Ausgangslage und Stand der Forschung</b>		
<b>Kapitel 2: Zielsetzungen</b>	Telematische Prognose der Verletzungsintensität	Telemedizinische Unterstützung von Laien bei Erste-Hilfe-Maßnahmen
<b>Kapitel 3: Methodik</b>	Kapitel 3.1	Kapitel 3.2
<b>Kapitel 4: Ergebnisse</b>	Kapitel 4.1	Kapitel 4.2
<b>Kapitel 5: Diskussion</b>	Kapitel 5.1	Kapitel 5.2
Kapitel 5.3 Lösungsansatz für ein Telemedizinsystem		

**Abb. 2.** *Aufbau der Arbeit*

Darauf aufbauend werden im zweiten Kapitel die Funktionsweise eines Telemedizinsystems skizziert und die Fragestellungen zur Untersuchung der beiden Ansätze abgeleitet. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen die Grundlage für die Konzeption und Entwicklung eines Telemedizinsystems bilden.

Die angewandte Methodik zur Beantwortung der Fragestellungen, die Ergebnisse der Untersuchungen und die anschließende Diskussion sind Inhalt der Kapitel 3, 4 und 5. Die beiden Themenbereiche werden in den Kapiteln jeweils getrennt behandelt. Im letzten Abschnitt der Diskussion (Kapitel 5.3) wird aufbauend auf den Ergebnissen der

untersuchten Fragestellungen ein Lösungsansatz für die Architektur eines Telemedizin-systems zur Optimierung der präklinischen Notfallversorgung entwickelt.

# 1 Ausgangslage und Stand der Forschung

Als Grundlage für die Identifikation der Einsatzmöglichkeiten von telematischen und telemedizinischen Technologien in der präklinischen Notfallversorgung wird im Folgenden die Rettungskette vom Unfallgeschehen bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes hinsichtlich der Einflussfaktoren auf das Outcome von verletzten Personen dargestellt. Dabei werden insbesondere die Möglichkeiten zur Verkürzung der Zeit vom Unfall bis zum Beginn von suffizienten Hilfeleistungen sowie zur Sicherstellung einer adäquaten Qualität der primären Versorgung an der Unfallstelle betrachtet.

Für die identifizierten Ansatzpunkte werden anschließend der Status Quo sowie der Stand der Forschung bezüglich des Einsatzes von telematischen und telemedizinischen Technologien analysiert.

## 1.1 Einflussfaktoren auf das Outcome in der präklinischen Notfallversorgung

Das Outcome von Unfallopfern kann durch die Letalität, den Rehabilitationsverlauf und die langfristige Lebensqualität eines Unfallopfers beschrieben werden. Die Letalität lässt sich ex post eindeutig feststellen und ist damit ein zuverlässiges Maß für das Outcome. Schwieriger ist die Festlegung eines Maßes für den Rehabilitationsverlauf und die Lebensqualität von Unfallopfern, die nicht verstorben sind. Es können dazu beispielsweise Behandlungstage im Krankenhaus, Langzeitfolgen oder verlorene Arbeitsjahre bei Berufsunfähigkeit herangezogen werden. Zahlreiche wissenschaftliche Ansätze wurden entwickelt, um einen einheitlichen und vergleichbaren Maßstab für diese Faktoren zu erhalten [Schöffski2002]. Für die Bewertung sind allerdings i. d. R. schwer erfassbare Daten erforderlich. Aus diesem Grund wird bei medizinischen Studien zur Untersuchung der Einflussfaktoren auf das Outcome nach polytraumatischen Verletzungen, wie sie bei Verkehrsunfällen häufig vorliegen, i. d. R. die Letalität bzw. Überlebenswahrscheinlichkeit als Maßstab genutzt.

Das Outcome von Unfallopfern hängt einerseits von Faktoren ab, die nicht primär durch die medizinische Versorgung nach einem Unfall beeinflusst werden können (z. B. Art der Verletzung, Verletzungsschweregrad, körperliche Verfassung des Unfallopfers). Andererseits ist das Outcome von Faktoren abhängig, die direkt im Einflussbereich der zufällig am Unfallort anwesenden Personen, des Rettungsdienstes und der sich anschließenden klinischen Versorgung liegen. Zu diesen Faktoren gehören u. a. die Zeitspanne zwischen dem Eintritt eines Notfalls und dem Beginn von suffizienten Hilfeleistungen,

die Qualität der Erste-Hilfe-Maßnahmen von Laien sowie die Qualität der primären Versorgung der Unfallopfer an der Unfallstelle durch den Rettungsdienst.

### 1.1.1 Einflussfaktor: Zeit vom Unfall bis zur Hilfeleistung

Die Zeit vom Unfall bis zum Beginn von suffizienten Hilfeleistungen ist insbesondere bei einer vitalen Gefährdung von Bedeutung für das Outcome der Unfallopfer. Eine suffiziente Hilfeleistung erfolgt häufig erst mit dem Eintreffen des Rettungsdienstes am Unfallort. Um die Ansatzpunkte für eine Verkürzung der gesamten Zeitspanne zu identifizieren, werden zunächst die einzelnen Abschnitte in der Rettungskette betrachtet. Anschließend wird die Wirkung einer Verkürzung der Zeitspanne auf das Outcome anhand einer Literaturanalyse dargestellt.

#### 1.1.1.1 Zeitabschnitte in der Rettungskette

Die Zeitspanne vom Unfall bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes an der Unfallstelle kann in mehrere Teilzeiten und Zeitabschnitte<sup>4</sup> unterteilt werden (Abb. 3).

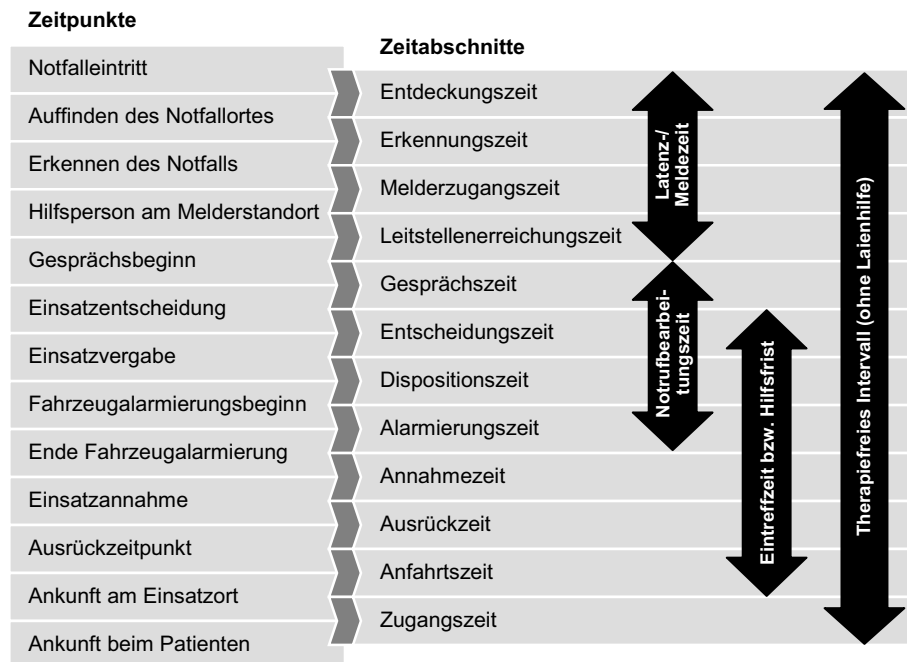
Als Latenz- bzw. Meldezeit wird die Zeit definiert, die vom Eintritt eines Notfalls bis zum Gesprächsbeginn mit der Rettungsleitstelle vergeht. Deren Dauer wird durch das Entdecken (Entdeckungszeit) und Erkennen (Erkennungszeit) eines Notfalls, die Lokalisierung des Unfallortes (Orientierungszeit) sowie die Zeit zum Erreichen eines Telefons (Melderzugangszeit) bestimmt. Die Notrufbearbeitungszeit ist der Zeitabschnitt zwischen dem Beginn der Aufschaltung eines Notrufs und der Alarmierung eines freien Rettungsmittels. Die Notrufbearbeitungszeit setzt sich aus der Gesprächs-, Entscheidungs-, Dispositions- und Alarmierungszeit zusammen. Ein wesentlicher Zeitabschnitt für die Rettungsdienstplanung sowie für die Beurteilung der Qualität und Effizienz des Rettungsablaufs ist die Eintreffzeit bzw. Hilfsfrist. Die Eintreffzeit ist der Zeitabschnitt von der Einsatzentscheidung bis zur Ankunft des Rettungsmittels am Unfallort. Damit umfasst die Eintreffzeit die Entscheidungs-, Dispositions- und Alarmierungszeit, die Annahme- und Ausrückzeit sowie die Anfahrtszeit.<sup>5</sup> Während jedes am Einsatz beteiligte Rettungsmittel seine eigene Eintreffzeit hat, ist die Hilfsfrist eine Eigenschaft des

---

<sup>4</sup> Zwei direkt aufeinander folgende Zeitpunkte definieren eine Teilzeit. Aus der Zusammenfassung von einzelnen Teilzeiten werden Zeitabschnitte gebildet, die insbesondere als Planungsgrößen und zur Beurteilung der Prozess- und Ergebnisqualität im Rettungsdienst herangezogen werden. In der Literatur bestehen für die einzelnen Zeitpunkte, Teilzeiten und Zeitabschnitte keine einheitlichen Definitionen. Aus diesem Grund wird hier auf die Definition von *Schmiedel* [Schmiedel2002A] zurückgegriffen.

<sup>5</sup> Nach Ansicht der BAND [BAND2000] beginnt dieser Zeitabschnitt bereits mit dem Aufschalten des Notrufs auf die Rettungsleitstelle.

gesamten Einsatzes, welche durch das Eintreffen des ersten geeigneten Rettungsmittels bestimmt wird. Die Hilfsfrist ist eine durch Landesgesetzgebung festgelegte Zeitspanne und muss planerisch und organisatorisch sichergestellt werden [Schmiedel2002A, Hinkelbein2004, Schlechtriemen2000].<sup>6</sup>



**Abb. 3.** Zeitabschnitte vom Unfall bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes im organisatorischen Rettungsablauf [Hinkelbein2004]

### 1.1.1.2 Therapiefreies Intervall

Entscheidend für die Versorgung von verletzten Personen ist die gesamte Zeitspanne vom Unfall bis zur ersten suffizienten Hilfeleistung, die häufig erst durch den professionellen Rettungsdienst, aber auch von zufällig anwesenden Ärzten, Sanitätern oder gut ausgebildeten Laien erbracht werden kann. Dieser Zeitabschnitt wird als therapiefreies Intervall bezeichnet.

Deutschland verfügt über ein gut ausgebautes bodengebundenes sowie luftgestütztes Rettungssystem mit gesetzlich definierten Hilfsfristen, die je nach Bundesland zwischen 8 und 15 Minuten betragen. Im Durchschnitt ist deutschlandweit der Rettungsdienst

<sup>6</sup> Die genaue Definition der Hilfsfrist variiert zwischen den Bundesländern. Die Hilfsfrist wird in der Regel mit einem Sicherheitsniveau verknüpft, das angibt, in wieviel Prozent der Fälle die Vorgaben erreicht werden sollen. Das Sicherheitsniveau liegt in den meisten Bundesländern zwischen 90 und 95 % [Hinkelbein2004].

8 Minuten nach Eingang der Meldung in der Leitstelle am Unfallort; 95% der Verkehrsunfälle werden innerhalb von 16,7 Minuten versorgt. Innerorts beträgt die Zeit vom Meldungseingang bis zum Eintreffen des ersten Rettungsmittels bei Verkehrsunfällen im Mittel am Tage 6,9 Minuten und nachts 7,1 Minuten. Außerorts liegen die Zeiten bei 8,6 Minuten tags und 8,9 Minuten nachts [Schmiedel2002A].

Für die Latenz- bzw. Meldezeit sind in der Literatur nur wenig Angaben vorhanden, da der genaue Zeitpunkt eines Unfalls i.d.R. nicht direkt dokumentiert, sondern nur geschätzt werden kann und auch nicht im direkten Einflussbereich des Rettungsdienstes liegt. Im Rahmen einer Untersuchung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, wird von einer Latenzzeit von 10 Minuten (außerorts) ausgegangen [MUVBW1996, ZVEI1999]. In eigenen Auswertungen der amerikanischen Verkehrsunfalldatenbank NASS/CDS<sup>7</sup> sowie der deutschen Verkehrsunfalldatenbank GIDAS<sup>8</sup> beträgt die Latenzzeit durchschnittlich 5,9 Minuten in den USA bzw. 4,5 Minuten in Deutschland.

Wird von einer mittleren Latenzzeit von 5 bzw. 10 Minuten und einer Gesprächszeit (inkl. Entscheidungszeit) von rund 1 Minute ausgegangen [MUVBW1996, Puhan1994] lässt sich die gesamte Zeitspanne vom Unfall bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes berechnen.<sup>9</sup> Das therapiefreie Intervall beträgt damit während des Tages je nach zugrundeliegender Latenzzeit 14,6 bzw. 19,6 Minuten außerorts und 12,9 bzw. 17,9 Minuten innerorts.

In zeitkritischen Notfallsituationen und bei einer unmittelbaren vitalen Gefährdung von schwerverletzten Personen ist ein therapiefreies Intervall von 12,9 bis 19,6 Minuten zu lang. Eine Verkürzung des therapiefreien Intervalls wäre durch die Reduzierung der Hilfsfrist denkbar. Dazu müssten die Dispositionszeiten in den Leitstellen verringert oder die Dichte der Notarztstandorte und Rettungswachen erhöht werden. Aus organisatorischen, logistischen und ökonomischen Gründen ist eine Reduzierung der Hilfsfrist

---

<sup>7</sup> Unfalldatenbank der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) des National Automotive Sampling System (NASS) und des Crashworthiness Data System (CDS). In der Datenbank werden repräsentativ für gesamte USA alle schweren Verkehrsunfälle erfasst. Zur Bestimmung der durchschnittlichen Latenzzeiten wurden 15.790 Verkehrsunfälle in den Jahren 1997 bis 2003 ausgewertet. Extremwerte größer als 60 Minuten wurden ausgeschlossen.

<sup>8</sup> In der GIDAS-Unfalldatenbank (German In-Depth Accident Study) des Kooperationsprojektes der Bundesanstalt für Straßenwesen und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. wird im Erhebungsgebiet Großraum Hannover und Dresden eine für das Gebiet repräsentative Stichprobe aller Verkehrsunfälle mit Personenschaden eingehend untersucht. Zur Bestimmung der durchschnittlichen Latenzzeiten wurden 2.252 Verkehrsunfälle in den Jahren 2000 bis 2004 ausgewertet. Extremwerte größer als 60 Minuten wurden ausgeschlossen.

<sup>9</sup> Die Zugangszeit wurde bei der Berechnung des therapiefreien Intervalls nicht berücksichtigt.



jedoch kaum möglich [Schlechtriemen2003]. Die Optimierungspotentiale sind in diesen Bereichen bereits weitgehend ausgeschöpft. Zur Verkürzung des therapiefreien Intervalls ergeben sich damit zwei grundlegende Ansatzpunkte: Einerseits die Verringerung der Latenzzeit durch eine Beschleunigung der Unfallmeldung und andererseits die Sicherstellung einer suffizienten Laienhilfe vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes an der Unfallstelle. Der Einsatz von telematischen und telemedizinischen Technologien zur Beschleunigung der Unfallmeldung und zur Unterstützung der Laienhilfe wird im Rahmen dieser Arbeit detailliert untersucht.

### 1.1.1.3 Einfluss des therapiefreien Intervalls auf das Outcome

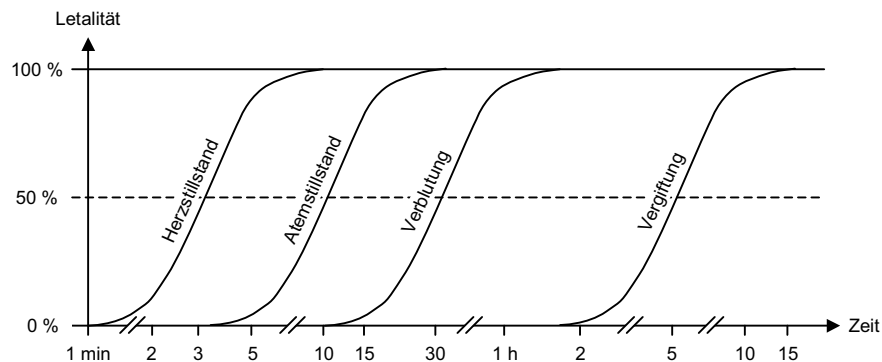
Eine Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Überlebenswahrscheinlichkeit von polytraumatisch verletzten Unfallopfern auf der Basis retrospektiv erhobener Daten des Traumaregisters der DGU (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie) durch *Schwermann* [Schwermann2003] zeigte, dass die Dauer zwischen dem Unfallzeitpunkt und dem Eintreffzeitpunkt eines Notarztes einen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit hat.<sup>10</sup> Jede Minute, die der Notarzt länger benötigt, um an den Unfallort zu gelangen, senkt die Überlebenswahrscheinlichkeit durchschnittlich um 3,3 Promille. Im Rahmen einer medizinischen Analyse von Verkehrsunfällen mit Schwerverletzten und Getöteten hat sich gezeigt, dass rund drei Viertel aller Getöteten innerhalb der ersten Stunde nach der Kollision sterben [RESIKO1998]. Dementsprechend steigen die Möglichkeiten des Rettungsdienstes, bei schnellerem Eintreffen den jeweils noch Lebenden das Leben zu erhalten.

Die Bedeutung der Zeit bis zur Erstversorgung lässt sich am Letalitätsverlauf nach unterschiedlichen Notfallsituationen erkennen. Wird nach Eintreten eines Herz-Kreislaufstillstandes innerhalb der ersten Minute mit Wiederbelebungsmaßnahmen begonnen, können erheblich mehr Notfallpatienten gerettet werden. Die Überlebensrate fällt pro Minute um ca. 10%. Mit gravierenden neurologischen Schäden ist ab der vierten Minute nach Eintritt des Herz-Kreislaufstillstandes zu rechnen [Schlechtriemen2003, Lechleuthner1998]. Von *Cara* [Cara1981] wurde der Letalitätsverlauf bei Herzstillstand, Atemstillstand und starker Blutung untersucht und gegenübergestellt (Abb. 4). Ein Atemstillstand tritt beispielsweise nach äußeren Verletzungen als Folge eines Herz-Kreislaufstillstandes auf. Er kann aber auch durch die Aspiration von Blut und Magen-

---

<sup>10</sup> *Schwermann* [Schwermann2003] führte eine multivariate Analyse (Probit-Modell) der Einflussfaktoren auf die Überlebenswahrscheinlichkeit durch, in der als signifikante und beste erklärende Variablen für die Überlebenswahrscheinlichkeit u. a. Alter, ISS (Injury Severity Score) und GCS (Glasgow Coma Scale) der verletzten Person sowie die Zeit vom Unfall bis zum Eintreffen des Notarztes identifiziert wurden. Die Zeit vom Unfall bis zum Eintreffen in der Notaufnahme zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit.

inhalt bei bewusstlosen Personen verursacht werden. Da nach einem Unfall eine vitale Gefährdung zu unterschiedlichen Zeitpunkten eintreten kann, ist davon auszugehen, dass eine möglichst frühe suffiziente Hilfe für die Lebenserhaltung von entscheidender Bedeutung ist.



**Abb. 4.** Letalitätsverlauf bei verschiedenen vitalen Gefährdungen nach Cara [Cara1981]

## 1.1.2 Einflussfaktor: Laienhilfe

Eine Verkürzung des therapiefreien Intervalls kann, neben einer Minimierung der Zeit vom Unfall bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes, auch durch suffiziente Erste-Hilfe-Maßnahmen von zufällig anwesenden Personen (Laien) erreicht werden. Aufgrund des Zeitvorteils haben Laien in kritischen Notfallsituationen deutlich bessere Ausgangsbedingungen, dem Patienten zu helfen, als der i. d. R. später eintreffende Rettungsdienst [Schlechtriemen2003, Sefrin1985]. Eine suffiziente Versorgung der Unfallopfer setzt voraus, dass einerseits anwesende Laien die Initiative ergreifen und helfen und andererseits die Qualität der Hilfeleistung ausreichend ist, um die Zeit bis zum Eintreffen des professionellen Rettungsdienstes zu überbrücken.

### 1.1.2.1 Hilfsbereitschaft in Notfallsituationen

Eine Untersuchung der Notfallversorgung durch Erst-Helfer in einer ländlichen Region hat gezeigt, dass in 97% der Fälle medizinische Laien vor Eintreffen des Rettungsdienstes am Einsatzort waren. Doch nur in wenigen Fällen wurden von den anwesenden Laien die erforderlichen Maßnahmen durchgeführt [Donner1999].

Die Ursachen der unterlassenen Hilfeleistung sind vielschichtig. Eine Untersuchung der Philipps-Universität Marburg hat gezeigt, dass die Hilfsbereitschaft vor allem durch die Motivation und Kompetenz der potentiellen Helfer beeinflusst wird. Weitere Einflussgrößen sind u. a. die Angst vor Infektionen und juristischen Konsequenzen bei

Behandlungsfehlern, die Zahl der Personen am Unfallort und die Opfercharakteristika [Bierhoff1990]. Die Bedeutung der einzelnen Einflussgrößen auf die Hilfsbereitschaft von Laien nach Straßenverkehrsunfällen wurden in einer Voruntersuchung zu dieser Arbeit analysiert (vgl. Kapitel 1.3).

### 1.1.2.2 Qualität der Laienhilfe

Von *Mauritz et al.* wurde eine Studie über Erste-Hilfe-Maßnahmen von Laien bei traumatologischen Notfällen durchgeführt [Mauritz2003]. In 57% der untersuchten Fälle war ein Erst-Helfer vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes am Unfallort. Im Durchschnitt wurden etwa 86% der indizierten Maßnahmen durchgeführt, allerdings hatte der Ausbildungsstand der Helfer einen deutlichen Einfluss auf Anzahl und Qualität der durchgeführten Maßnahmen. Von Erst-Helfern mit einem höheren Ausbildungsstand wurden sehr viel häufiger Maßnahmen in ausreichender Qualität durchgeführt, als von Helfern mit nur einer Basisausbildung oder keiner Ausbildung. Bei diesen lag der Prozentsatz der als „gefährlich“ beurteilten Maßnahmen deutlich höher als der Prozentsatz der als „lebensrettend“ beurteilten Maßnahmen. Ein Zusammenhang zwischen Erst-Helfer-Maßnahmen und Outcome wurde in der Studie nicht hergestellt.

Zur Untersuchung der Kompetenz der Bevölkerung in Erste-Hilfe und der Effektivität von Erste-Hilfe-Lehrgängen wurden in der deutschsprachigen Literatur bereits mehrere Studien durchgeführt. Eine repräsentative Bevölkerungsbefragung zum Thema Erste-Hilfe ergab, dass 79% der Befragten bereits an einer Erste-Hilfe-Ausbildung teilgenommen haben [Schäfer2001]. 78,9% der Kursteilnehmer waren allerdings nach zwei Jahren nicht mehr in der Lage, eine Herz-Lungen-Wiederbelebung durchzuführen. Bereits die Puls- und Atemkontrolle bereiteten Schwierigkeiten [Bahr1997, Reith1999].

Aus den vorliegenden Untersuchungen kann geschlossen werden, dass der Ausbildungsstand der Bevölkerung in Erster-Hilfe einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Laienhilfe hat, aber der Ausbildungsstand trotz einer breiten Basisausbildung nicht ausreichend ist. Die Ursachen dafür können in einer geringen Effektivität der Lehrgänge liegen oder an den durchschnittlich langen Zeitintervallen seit der letzten Ausbildung [Grossert2003]. Dies rechtfertigt einerseits die Forderung nach einer intensiveren und sich wiederholenden Erste-Hilfe-Ausbildung und einer flächendeckenden Einführung von First-responder-Konzepten [Schlechtriemen2003]. Andererseits fehlt es den Erst-Helfern in Notfallsituationen an einer kompetenten Unterstützung durch die Rettungsleitstelle und an zielgerichteten Hilfsmitteln bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen [Ellinger2002]. Der Einsatz von telematischen und telemedizinischen Technologien bietet die Möglichkeit, die Laien zu unterstützen und damit die Qualität ihrer Maßnahmen zu erhöhen.

### 1.1.2.3 Einfluss der Laienhilfe auf das Outcome

Der positive Einfluss der von Laien richtig durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit und die Rehabilitationsaussichten nach kardiologischen Notfällen wurde in zahlreichen Studien zur kardiopulmonalen Reanimation nachgewiesen [Callies2000, Gallagher1995, Wik1994, Hoeyweghen1993]. In der Literatur konnten keine Studien gefunden werden, in denen der Einfluss von Laienhilfe auf die Überlebenswahrscheinlichkeit von traumatisierten Patienten analysiert wurde [Dick2003A].

Bei einer Untersuchung von 2.071 Herzkreislaufstillständen mit kardiologischen Ursachen in New York City kamen *Gallagher et al.* zu dem Ergebnis, dass der Anteil der Überlebenden in der Gruppe mit Laienreanimation signifikant höher war (2,9%, 19/662) als in der Gruppe ohne Laienreanimation (0,8%, 11/1405). Der *odds ratio* in ihrem logistischen Regressionsmodell betrug  $OR = 3,7$  (95% CI: 1,7 - 8,8;  $p < 0,001$ ). Wurden in der Analyse nur effektive Reanimationen berücksichtigt, lag der Anteil der Überlebenden bei 4,6% (14/305) und der *odds ratio* bei  $OR = 5,7$  (95% CI: 2,7 - 12,2;  $p < 0,001$ ). Von den Patienten, die eine effektive Herzdruckmassage und eine ineffektive Beatmung erhielten, überlebten 2%. In der Gruppe von Patienten, die weder eine effektive Herzdruckmassage noch eine effektive Beatmung erhielten, überlebten nur 0,6% [Gallagher1995].

### 1.1.3 Einflussfaktor: Art des Rettungsmittels

Neben der Länge der Zeit vom Unfall bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes und der Qualität der Versorgung der Unfallopfer durch zufällig anwesende Laien stellen die Art und Anzahl der primär disponierten Rettungsmittel und damit die Qualität der primären Versorgung durch den Rettungsdienst weitere Einflussfaktoren auf das Outcome bzw. die Überlebenswahrscheinlichkeit dar.<sup>11</sup> Über die Art der Rettungsmittel für die primäre Versorgung wird in der Rettungsleitstelle auf der Grundlage des Meldebildes von der Unfallstelle entschieden.

---

<sup>11</sup> Die Art der Rettungsmittel bezieht sich insbesondere auf die Qualifikation des Personals (Notarzt versus Rettungssanitäter/-assistenten) und auf die technische Ausstattung. Bei einer zu geringen Anzahl der Rettungsmittel im Verhältnis zur Anzahl der verletzten Personen sinkt auch die Qualität der Versorgung bei gegebener Art des Rettungsmittels.

### 1.1.3.1 Dispositionsentscheidung in der Rettungsleitstelle

Eine wesentliche Aufgabe der Rettungsleitstelle ist es, die Rettungsmittel in adäquater Qualität und Quantität zu disponieren. In der Leitstelle muss von einem Disponenten die Entscheidung über die Anzahl und die technische Ausstattung der Rettungsmittel (z.B. für Bergungsmaßnahmen) sowie über die Indikation eines Notarzteinsatzes getroffen werden. Nachdispositionen führen zu einer Verlängerung des therapiefreien Intervalls, womit sich die Wahrscheinlichkeit eines schlechteren Outcomes erhöht. Die nicht-indizierte Disposition eines Notarztes führt aufgrund der höheren personellen und materiellen Anforderungen kurzfristig zu einer höheren Belastung der verfügbaren Ressourcen und langfristig zu steigenden Kosten für den Rettungsdienst. Dementsprechend ist eine Abwägung zwischen dem Nutzen und den Kosten eines Notarzteinsatzes erforderlich. Der gleiche Zusammenhang gilt für die Anzahl und die technische Ausstattung der Rettungsmittel.

Die Dispositionsentscheidung wird in der Rettungsleitstelle auf der Grundlage der telefonisch im Gespräch mit dem Melder abgefragten Informationen getroffen. Der Disponent muss sich in kurzer Zeit ein Bild von der Unfallstelle machen, die Anzahl und vitale Gefährdung der verunglückten Personen erkennen und daraus u.a. die Notwendigkeit eines Notarzteinsatzes beurteilen.<sup>12</sup> Zur Evaluation der Qualität der Dispositionsentscheidungen wurden von *Lenz et al.* im Großraum Mainz und von *Koppenberg et al.* im Raum Würzburg retrospektive Untersuchungen durchgeführt [Lenz2000, Koppenberg1997, Sefrin1998A]. *Koppenberg et al.* kamen zu dem Ergebnis, dass aus den Gesprächen mit den Unfallmeldern in vielen Fällen nur unvollständige Informationen über Bewusstseinszustand, Atmung, Kreislauf und Art der Verletzungen gewonnen werden können. In 26% der Verkehrsunfälle wird aus diesem Grund die Entscheidung für die Indikation eines Notarzteinsatzes unter Unsicherheit getroffen. In nur 12,5% waren die Disponenten in der Leitstelle der Meinung, eine eindeutige Indikation für einen Notarzteinsatz erkannt zu haben. Dies führt dazu, dass 38% der Notarzteinsätze bei Straßenverkehrsunfällen nach Einschätzung der Notärzte vor Ort als nicht gerechtfertigt bewertet wurden [Koppenberg1997]. Gleichzeitig zeigte die Auswertung von *Lenz et al.*, dass in 5% aller Unfälle eine Unterversorgung vorlag und ein Notarzt durch den Rettungsdienst am Einsatzort nachgefordert werden musste [Lenz2000]. In einer Untersuchung von 1.298 Rettungsdiensteinsätzen ohne Notarztbeteiligung durch *Puhan* musste in 8,3% der Fälle ein Notarzt nachalarmiert werden [Puhan1994]. *Schmiedel* kam in seiner Auswertung von 11.971 Rettungsdienstprotokollen zu dem Ergebnis, dass

---

<sup>12</sup> Als Entscheidungshilfe für die Disposition der Rettungsmittel liegt dem Disponenten i.d.R. ein Notarztindikationskatalog [BÄK2005] und ein Einsatzstichwortkatalog [BerlinerF2005] vor. Der Disponent muss dem Meldebild ein oder mehrere Einsatzstichworte zuordnen. Jedem Einsatzstichwort ist im Katalog eine Kombination von Rettungsmitteln zugeordnet.

in 6% der Fälle ohne Notarztbeteiligung ein Notarzt erforderlich gewesen wäre [Schmiedel2002]. Wird davon ausgegangen, dass in rund 32% der mit dem Rettungsdienst versorgten Verkehrsunfälle ein Notarzteinsatz erfolgt [Schmiedel2002A, Lenz2000], können gemäß der Matrix in Abbildung 5 die Sensitivität und die Spezifität der Notarztindikationsentscheidung berechnet werden. Es ergeben sich eine Sensitivität von 77,9% und eine Spezifität von 83,7%.

		tatsächliche Indikation		
		Notarzt erforderlich	Notarzt nicht erforderlich	
Dispositions- entscheidung	mit Notarzt	True Positive TP = 19,8%	False Positive FP = 12,2%	$P^* = TP + FP$ $P^* = 32\%$
	ohne Notarzt	False Negative FN = 5,7%	True Negative TN = 62,3%	$N^* = FN + TN$ $N^* = 68\%$
		$P = TP + FN$ $P = 25,5\%$	$N = FP + TN$ $P = 74,5\%$	$P+N = P^*+N^*$ $P+N = 100\%$

**Annahmen:**

Notarzt-Beteiligung:  
 $P^* = 32\%$  [Lenz2000]

Notarzt-Fehleinsatz:  
 $FP/P^* = 38\%$  [Koppenberg1997]

Notarzt nachgefordert:  
 $FN/N^* = 8,3\%$  [Puhan1994]

➡ **Sensitivität:**  $SE = TP/P = 77,9\%$

**Spezifität:**  $SP = TN/N = 83,7\%$

**Abb. 5.** Treffgenauigkeit der Notarztindikationsentscheidung (Status Quo)

Zur Verbesserung der Trennschärfe - d.h. Erhöhung der Sensitivität und Spezifität der Dispositionsentscheidung - müssten der Notruf des Zeugen bezüglich des Meldeinhalts verbessert und die medizinische Qualifikation des Leitstellenpersonals gesteigert werden.<sup>13</sup> Dies ist durch eine verbesserte Ausbildung der Bevölkerung und eine zusätzliche Schulung der Disponenten denkbar. Weitere Informationen von der Unfallstelle zur Verbesserung der Dispositionsentscheidung könnten auch durch den Einsatz telematischer und telemedizinischer Technologien gewonnen werden.

### 1.1.3.2 Einfluss des Rettungsmittels auf das Outcome

Zur Untersuchung des Einflusses der gewählten Rettungsmittel auf die Letalität nach polytraumatischen Verletzungen wurde von Biewener *et al.* [Biewener2005] eine evidenzbasierte Studie zur Effektivität der Luftrettung durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Letalität polytraumatisierter Personen bei gleichem Verletzungsschweregrad und Einsatz der Luftrettung geringer ausfällt, als bei dem Einsatz des bodengebundenen Rettungsdienstes. Da in den meisten Fällen kein Zeitvorteil vorlag, führten sie die Senkung

<sup>13</sup> Es ist zu beachten, dass längere Gesprächszeiten zwischen dem Zeugen und dem Disponenten mit dem Zweck einer detaillierten Abfrage des Meldebildes wiederum zu einer Verlängerung der gesamten Zeitkette führen.

der Letalität, neben einer freieren Wahl der Zielklinik (z.B. Trauma-Center), auf die Ausbildungs- und Erfahrungsvorteile des Luftrettungs-Teams zurück. *Sefrin* [Sefrin1998B] kam in einer seiner Studien auch zu dem Ergebnis, dass eine Primärversorgung durch besser ausgebildetes Personal (Notarzt versus Rettungssanitäter/-assistent) das Outcome positiv beeinflusst.

## 1.2 Telematische und telemedizinische Technologien in der präklinischen Notfallversorgung

Telematische und telemedizinische Technologien werden in der präklinischen Notfallversorgung in den unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt, wie z.B. Homemonitoring oder Verbesserung des Informationsflusses zwischen der Leitstelle, dem Rettungsdienst vor Ort und den Zielkliniken. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Einsatz dieser Technologien an den identifizierten Ansatzpunkten zur

- Verkürzung der Latenzzeit und Verbesserung des Meldebildes in der Rettungsleitstelle sowie zur
- Motivation und Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen

untersucht.

Die Begriffe *Telematik* und *Telemedizin* werden in der Literatur nicht einheitlich verwendet, weil die Telemedizin einen Teilbereich der Telematik darstellt. Der Telematik werden alle Verfahren zugeordnet, die sich durch die Integration von Telekommunikation und Informatik ergeben. Die Grenzen zwischen Informatik und Telematik sind damit fließend. Im engen Sinne liegen Computernetzwerke (z.B. Client-Server-Architekturen) innerhalb eines geschlossenen Informationssystems im Arbeitsbereich der Informatik, während Computernetzwerke, bei denen die Kommunikation über weite Entfernungen z.B. über das Telefonnetz erfolgt, dem Bereich der Telematik zugeordnet werden müssten. Der Begriff *Telemedizin* ist abgeleitet aus der Schnittmenge von Telekommunikation, Informatik und Medizin. Gemäß dieser Definition umfasst die Telemedizin einen Teilbereich der Telematik mit speziellen Anwendungen innerhalb der Medizin und hat das Ziel, medizinische Versorgung im weitesten Sinne unabhängig von räumlichen Entfernungen anbieten zu können [Schächinger1999].

Im Folgenden wird im Überblick der Einsatz von Telematik bzw. Telemedizin zur Beschleunigung der Unfallmeldung, Verbesserung des Meldebildes sowie zur Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen dargestellt.

### 1.2.1 Automatische Notrufsysteme

In der präklinischen Notfallversorgung kommt der Unfallmeldung eine entscheidende Bedeutung zu. Erst mit dem Eingang der Unfallmeldung in der Rettungsleitstelle können die Organisationsabläufe des Rettungsdienstes gestartet werden. Die Inhalte der Unfallmeldung (Meldebild) bilden die Grundlage für die Entscheidung über die Art, Anzahl und den Einsatzort der Rettungsmittel, die primär disponiert und an den Unfallort entsandt werden.

Die Zeit vom Unfall bis zur Unfallmeldung (Latenzzeit) nimmt einen bedeutenden Anteil des gesamten therapiefreien Intervalls ein. Die flächendeckende Verfügbarkeit der Mobilfunknetze ermöglicht es zwar, schnell einen Kontakt mit einer Rettungsleitstelle aufzubauen<sup>14</sup>, doch dies setzt voraus, dass die Fahrzeuginsassen nach einem Unfall noch in der Lage sind, einen Notruf abzusetzen oder ein Zeuge am Unfallort anwesend ist, der diese Aufgabe übernimmt. Zeugen oder Unfallbeteiligte sind allerdings häufig überfordert, den genauen Ort des Unfalls zu bestimmen, das Ausmaß des Unfalls mit der Anzahl der verletzten Personen und deren Verletzungsgraden zu erkennen, diese Informationen zu strukturieren und an eine Rettungsleitstelle zu übermitteln. Die Übermittlung der Informationen wird zusätzlich durch Kommunikationsprobleme oder Sprachschwierigkeiten verzögert oder gestört [Schmiedel2002A, Smentek1997, Lackner1999A]. Fehlerhafte oder fehlende Informationen führen zu falschen Einsatzentscheidungen. Bei ungenauen Ortsangaben bzw. späteren Nachforderungen weiterer Rettungsmittel ergeben sich zusätzliche Zeitverluste in der Rettungskette.

#### 1.2.1.1 Status Quo - automatische Notrufsysteme

Eine Automatisierung der Unfallmeldung kann im Straßenverkehr durch den Einsatz von automatischen Notrufsystemen (Automatic-Collision-Notification-Systems), die in PKWs integriert sind, erreicht werden [Geck1998]. Derartige Systeme wurden von verschiedenen Fahrzeugherstellern entwickelt und werden als Zusatzausstattung i. d. R. in Kombination mit weiteren telematischen Dienstleistungen am Markt angeboten.<sup>15</sup> Neben einer manuellen Aktivierung durch einen Fahrzeuginsassen können die Notrufsysteme bei einem Unfall durch die Crash-Sensorik des PKWs aktiviert werden. Bei den derzeit verfügbaren Systemen wird i. d. R. das Auslösen eines Airbags als Triggersignal für die Aktivierung des Notrufsystems genutzt. Das Notrufsystem liest nach der Akti-

---

<sup>14</sup> Bei annähernd der Hälfte der Verkehrsunfälle wurde im Jahr 2000 die Leitstelle über ein Mobiltelefon informiert [Quelle noch suchen].

<sup>15</sup> DaimlerChrysler (TELEAID), Audi (telematics), BMW (BMW Assist), Opel (OnStar SOS Service Call), Porsche (Porsche Communication Management), Peugeot (NAVTECH ON BOARD), Fiat/ Lancia (Connect), Citroen (Telem@tik PLUS).



vierung die Positionsdaten des GPS-Navigationssystems der letzten Minuten vor dem Crash aus und sendet die Daten, gemeinsam mit weiteren PKW-Identifikationsdaten, per Mobilfunk (GSM) an einen zentralen Provider. Die Daten werden vom Provider verifiziert und ggf. um Daten aus einer zentralen Datenbank (z.B. Notfalldaten der Insassen) ergänzt und an die Rettungsleitstelle per FAX übermittelt. Parallel wird vom Provider eine Sprachverbindung zum Fahrzeuginnenraum aufgebaut, um weitere Informationen über die Anzahl der beteiligten Personen sowie über die Verletzungsschwere zu erhalten [TeleAid2005].

Eine Studie der Stuttgarter Polizei hat gezeigt, dass durch den Einsatz eines solchen Systems die Zeit vom Unfallereignis bis zum Eintreffen der Einsatzkräfte sowohl in der Stadt als auch auf dem Land nahezu halbiert werden kann.<sup>16</sup> Außerorts konnte die Rettungszeit von 21 auf 12 Minuten und innerorts von 13 auf 8 Minuten reduziert werden. Es wird davon ausgegangen, dass bei einem bundesweiten Einsatz des Systems ca. 900 Personen weniger pro Jahr im Straßenverkehr getötet und die Verletzungsfolgen von ca. 15% der schwerverletzten Personen deutlich reduziert werden können. Der volkswirtschaftliche Nutzen eines flächendeckenden automatischen Notrufsystems wird im Rahmen der Studie mit rund 1,3 Mrd. Euro pro Jahr beziffert [ZVEI1999].

#### **1.2.1.2 eMERGE-Rahmenarchitektur**

Im Rahmen der Initiative der Europäischen Union eSafety wurde für die Umsetzung des Aktionsprogramms eCall zur europaweiten Einführung automatischer Notrufsysteme das Projekt eMerge ins Leben gerufen.<sup>17</sup> Die Ziele des Projektes waren die Spezifikation und Harmonisierung der technischen und operativen Anforderungen für die Einführung einer europaweiten automatischen Unfallmeldung sowie die Validierung des entwickelten Konzeptes. Unter Berücksichtigung der bestehenden Strukturen in Europa wurde eine Rahmenarchitektur entwickelt, die die erforderliche Infrastruktur, die Kommunikationswege und -schnittstellen sowie Übertragungsprotokolle umfasst. Abbildung 6 stellt die vorgesehene Architektur und den Kommunikationsablauf zwischen den Elementen des Systems dar. Die Architektur unterscheidet sich im Aufbau grundsätzlich von den derzeit im Betrieb befindlichen Systemen.

---

<sup>16</sup> STORM-Projekt, Feldversuch zum Einsatz von Telematik im Verkehr.

<sup>17</sup> eMERGE, Projekt der European Commission DG Information Society, Laufzeit 2002 bis Ende 2004.

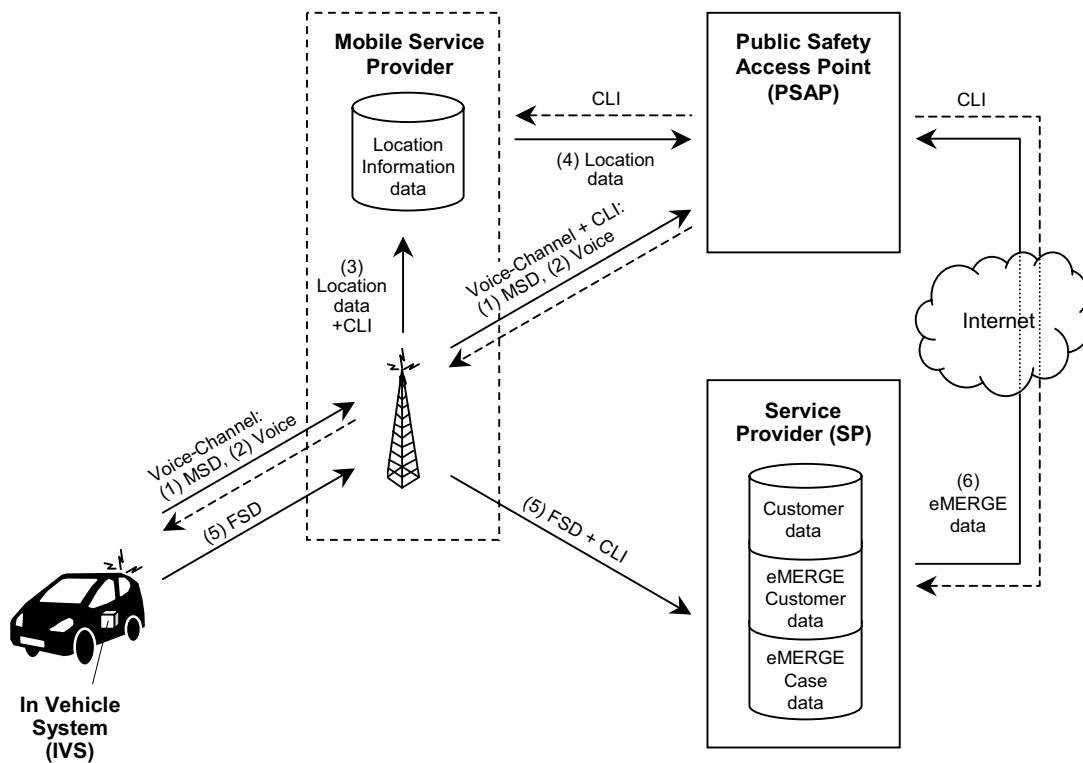


Abb. 6. eMERGE-Rahmenarchitektur

Die Unfallmeldung wird von einem Modul (In Vehicle System, IVS) ausgelöst, das im Fahrzeug integriert ist und ausgewählte Fahrzeugsensoren überwacht sowie die Positionsdaten des GPS-Navigationssystems auslesen kann. Die Auslösung des Systems kann über eine manuelle Aktivierung (Notfallknopf) oder über die Aktivierung von Fahrzeugsensoren infolge eines Unfalls erfolgen. Bei Auslösung des Systems wird vom IVS zunächst ein Sprachkanal mittels GSM/GPRS/UMTS-Technologie über E112<sup>18</sup> zum regionalen PSAP (Public Safety Access Point)<sup>19</sup> eröffnet und darüber ein minimaler Datensatz (Minimum Set of Data, MSD)<sup>20</sup> übermittelt (1). Der Empfang des minimalen Datensatzes wird vom PSAP dem IVS bestätigt. Anschließend wird über den geöffneten Sprachkanal eine Sprachkommunikationsverbindung zum Fahrzeuginnen-

<sup>18</sup> Von der Coordination Group to Location Information for Emergency Services (CEGALIS) wurde eine Spezifikation für die europaweite Umsetzung einer einheitlichen Notrufnummer mit der Lokalisierung des Anrufers (Festnetz und Mobilfunk) entwickelt. Die Spezifikation wurde als Directive von der EU veröffentlicht (2002/21/EC und 2003/558/EC). In den Mitgliedsstaaten wird aktuell an der Umsetzung gearbeitet.

<sup>19</sup> PSAP (Public Safety Access Point) entspricht in Deutschland der Rettungsleitstelle.

<sup>20</sup> Der minimale Datensatz enthält folgende Informationen: GPS-Position, Fahrtrichtung, auslösender Sensor, Fahrzeugmarke und -farbe, Uhrzeit des Unfalls, Service Provider-ID, Service Provider Telefonnummer, Länder-ID und User-ID.

raum hergestellt (2). Der Mobilfunkprovider überträgt bei einem Notruf auf dem Sprachkanal zusätzlich die Telefonnummer des Anrufers (Caller Line Identification, CLI), identifiziert die Position<sup>21</sup> des Mobilfunktelefons, legt diese in einer Positionsdatenbank (Location Database) ab (3) und überträgt sie (Push-Variante) über ein spezielles Protokoll (mobile location protocol E112) an den PSAP (4). Alternativ kann der PSAP über die Nummer des Anrufers (CLI) die Positionsdaten aus der Positionsdatenbank des Providers auslesen (Pull-Variante).<sup>22</sup> Bei der automatischen Unfallmeldung dient dies nur der Verifikation der Positionsdaten, da im minimalen Datensatz bereits die GPS-Koordinaten des Fahrzeuges enthalten sind, die eine genauere Positionsbestimmung ermöglichen.

Ist der Nutzer des Fahrzeuges bei einem privaten Service Provider (SP) registriert, sendet das IVS parallel einen erweiterten Datensatz (Full Set of Data, FSD) über den Mobilfunkprovider an den SP (5). Der FSD kann u.a. folgende Daten enthalten: CLI, Daten des MSD sowie weitere Daten der Fahrzeugsensorik. Zur Übertragung des MSD und des FSD wird die Nutzung des Übertragungsprotokolls Global Telematic Protocol (GTP) vorgeschlagen. Der Empfang des FSD wird vom SP dem IVS bestätigt. Der SP wertet den FSD aus und stellt die Ergebnisse, gemeinsam mit zusätzlichen Daten (Customer Data und Emergency Customer Data) über den Nutzer des Fahrzeuges (z.B. Name und Adresse sowie notfallrelevante Personendaten) dem PSAP in einer Datenbank zur Verfügung. Der PSAP kann diese Daten über die CLI aus der Datenbank auslesen und für die Dispositionsentscheidung nutzen (6). Die Übertragung der Daten erfolgt über eine sichere Internetverbindung. Für den Fall, dass der Disponent im PSAP nicht die Sprache des Fahrzeuginsassen spricht, kann er über die Telefonnummer des SP im MSD eine Telefonkonferenz mit dem SP einleiten.

In einigen EU-Staaten ist das Rettungsleitstellensystem zweistufig aufgebaut. In diesen Systemen wird der Notruf zunächst von einem zentralen PSAP 1 (PSAP Level 1) entgegengenommen und es werden die Daten des Anrufers abgefragt. Aufgrund dieser Informationen wird entschieden, welcher Notrufservice (z.B. Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienst) für die weitere Bearbeitung zuständig ist. Der PSAP 1 leitet anschließend die Daten bzw. den Anruf an den zuständigen PSAP 2 (PSAP Level 2) weiter, der die Disposition der Rettungskräfte vornimmt. In Deutschland werden aktuell die noch bestehenden zweistufigen Systemen durch die Einführung von integrierten Leitstellen in einstufige Systeme umgewandelt. In integrierten Leitstellen läuft der Anrufer unter

---

<sup>21</sup> Für die Positionsbestimmung wird i. d. R. die Triangulation eingesetzt.

<sup>22</sup> In unterschiedlichen Ländern werden Push- oder Pull-Technologien eingesetzt. Die Spezifikation des Protokolls (mobile location protocol) wurde von der ESTI-EMTEL (European Telecommunications Standards Institute - Operational Coordination Group on Emergency Telecommunications) festgelegt.

der 112 direkt in der regional zuständigen Leitstelle auf, die die Disposition der Rettungskräfte vornimmt.

Zur Validierung des Konzeptes wurden in mehreren Testgebieten<sup>23</sup> die Strukturen und Anpassungserfordernisse der PSAP untersucht und technische Feldtests durchgeführt. Aufgrund von Schätzungen in den einzelnen Testgebieten wird bei einer europaweiten Einführung des Systems eine Reduktion der Getöteten im Straßenverkehr in Höhe von 5% und eine deutliche Verbesserung des Outcomes bei 10% der Schwerverletzten für möglich gehalten. Der volkswirtschaftliche Nutzen wird auf 3 bis 5 Mrd. Euro jährlich und die Investitionskosten für die Einführung des Systems werden auf insgesamt 20 Mrd. Euro geschätzt [eMERGE2003]. Ein EU-Folgeprojekt GST RESCUE wurde im Jahr 2004 gestartet [GST2005].

### **1.2.1.3 Ansätze zur Prognose der Verletzungsintensität und Unterstützung der Dispositionsentscheidung**

In der Rettungsleitstelle stellt sich die Frage, mit welcher Dispositionsentscheidung auf eine eingehende automatische Unfallmeldung reagiert werden soll, die beispielsweise durch die Aktivierung eines Airbags ausgelöst wurde. Die Rettungsleitstelle kann versuchen, im Sprachkontakt mit dem Fahrzeuginsassen Informationen über die Art des Unfalls, die Anzahl der beteiligten Personen und ihre vitale Gefährdung abzufragen. Ist dies nicht erfolgreich, muss ein Rettungsmittel auf Verdacht disponiert werden. Falls die Fahrzeuginsassen noch bei Bewusstsein sind und das Fahrzeug noch nicht verlassen haben, können im Gespräch mit ihnen zwar weitergehende Informationen gewonnen werden, doch dabei geht wertvolle Zeit verloren. Die Disposition von Rettungsmitteln auf Verdacht kann bei einer flächendeckenden Einführung von automatischen Notrufsystemen zu einer Überlastung des Rettungsdienstes führen. Statistisch gesehen wird in Deutschland bei ca. 50% aller Unfälle mit Personenschaden ein Airbag ausgelöst, obwohl nur bei ca. 6% der Unfälle Personen schwer verletzt wurden.<sup>24</sup>

Aus diesem Grund liegt es nahe, mit der automatischen Unfallmeldung weitere Informationen über den Unfallhergang, den Fahrzeugzustand, die Anzahl der Fahrzeuginsassen sowie die Aktivierung und Nutzung von Sicherheitssystemen an die Rettungsleitstelle zu übertragen und daraus eine Prognose der Verletzungsintensität der Fahrzeuginsassen durchzuführen. Ein Teil der erforderlichen Daten wird bereits durch die Fahrzeugsensorik erfasst und könnte im FSD (full set of data) an einen Service Pro-

---

<sup>23</sup> Italien, UK, Spanien, Schweden, Niederland und Deutschland.

<sup>24</sup> Ergebnis der eigenen Auswertung der GIDAS-Datenbank.

vider (SP) übermittelt und dort für eine Prognose der Verletzungsintensität genutzt werden.

Dieser Ansatz wurde im Rahmen des EU-Forschungsprojektes AIDER<sup>25</sup> untersucht. Das Ziel des Projektes war die bessere Identifikation einer Notfallsituation nach einem Verkehrsunfall und die Versorgung der Rettungsleitstelle mit einem Maximum an Informationen über den Unfallhergang und den vitalen Status der Fahrzeuginsassen. Um dies zu erreichen, wurde neben der Übermittlung von Daten der Fahrzeugsensorik auch die Übermittlung von Bildern aus dem Fahrzeuginnenraum und von Daten zusätzlicher Beschleunigungssensoren sowie nichtinvasiver biomedizinischer Sensoren<sup>26</sup> an eine zentrale Kontrollstelle vorgesehen. In der Kontrollstelle sollen die Daten aufbereitet und als Entscheidungsgrundlage für die Disposition der Rettungsmittel an die Rettungsleitstelle weitergeleitet werden. Über die vorgesehenen Verfahren zur Prognose der Verletzungsintensität und Ableitung von Entscheidungsempfehlungen für die Rettungsleitstelle sind keine Informationen öffentlich verfügbar.

### **Prognose der Verletzungsintensität**

In USA wurde 1996 von der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) in Zusammenarbeit mit der University of Maryland Medical School ein Projekt zur Untersuchung von Einflussfaktoren auf den Schweregrad von Verletzungen der Fahrzeuginsassen nach Straßenverkehrsunfällen ins Leben gerufen. Im Rahmen des Projektes wurde von *Malliaris et al.* ein Algorithmus entwickelt, um das Risiko einer schweren Verletzung von Fahrzeuginsassen nach einem Verkehrsunfall zu prognostizieren [Malliaris1997]. Der Algorithmus - URGENCY genannt - basiert auf dem logistischen Regressionsansatz. Die Parameter der Regressionsfunktion wurden auf der Grundlage der Unfalldatenbank des National Automotive Sampling System/ Crashworthiness Data System (NASS/CDS) geschätzt. Als Inputfaktoren (unabhängige Variablen) wählten *Malliaris et al.* insgesamt 21 Attribute aus, die den Unfallhergang, das Fahrzeug sowie die Insassen beschreiben. Dabei verwendeten sie sowohl Daten, die durch die Fahrzeugsensorik gemessen werden können (z.B. delta V, Aufprallrichtung, Nutzung des Sicherheitsgurtes), als auch Daten, die in einem Gespräch mit einer Person am Unfallort erfasst werden müssen (z.B. Alter des Insassen, Einklemmung des Insassen, Herausschleudern des Insassen).

*Augenstein et al.* haben den URGENCY-Algorithmus validiert und weiterentwickelt, um ihn zur Prognose der Wahrscheinlichkeit für schwere Verletzungen der Fahrzeugin-

---

<sup>25</sup> EU-Forschungsprojekt AIDER (Accident Information from the Vehicle for Optimisation in Management of Rescue Operation), Laufzeit 2001 bis Ende 2004.

<sup>26</sup> Puls, Blutsauerstoffsättigung, Atemfrequenz, Blutdruck und Körpertemperatur.

sassen nach einem Verkehrsunfall einzusetzen [Augenstein2001, Augenstein2002, Augenstein2003, Bahouth2004]. Das Ziel war die Verbesserung der Entscheidungsfindung für die Disposition des Rettungsdienstes, die Triage, den Transport und die Behandlung der Unfallopfer. Die präklinische Notfallversorgung in den USA basiert weitgehend auf einem nicht-ärztlich gestützten Rettungssystem (Paramedic-System). Das Rettungsdienstpersonal (Paramedics) versucht, die Patienten möglichst schnell in ein Krankenhaus einzuliefern und die Versorgung am Unfallort ausschließlich auf die Stabilisierung des Kreislaufes zu beschränken („Scoop and Run“-Prinzip). Im Gegensatz dazu wird in Deutschland angestrebt, durch das flächendeckende Notarztsystem bereits am Unfallort eine weiterreichende Behandlung durchzuführen („Stay and Play“-Prinzip). Das nicht-ärztliche Rettungsdienstpersonal muss in den USA am Unfallort den Verletzungsschweregrad der Personen beurteilen, um zu entscheiden, ob ein Transport zu einem Trauma-Center erforderlich ist oder nicht (Triage). Fehlentscheidungen führen zu einer unzureichenden medizinischen Versorgung der Unfallopfer oder zu einer unnötigen Belastung medizinischer Ressourcen. Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung und Verbesserung der Trennschärfe soll die Prognose des URGENCY-Algorithmus eingesetzt werden. Gleichzeitig kann eine Verletzungsvorhersage in der sich anschließenden klinischen Versorgung als Verdachtsmoment für innere Verletzungen genutzt werden.

Als Inputfaktoren für die Weiterentwicklung des URGENCY-Algorithmus nutzten *Augenstein et al.* einerseits Informationen über den Unfallhergang, die von Sensoren eines automatischen Notrufsystems im Fahrzeug erfasst und an die Rettungsleitstelle übermittelt werden können und andererseits - wie bereits *Malliaris et al.* - zusätzliche Informationen, die durch Zeugen oder Paramedics von der Unfallstelle erhoben werden müssen. *Augenstein et al.* stellten fest, dass die Aufprallrichtung bei einem Unfall einen signifikanten Einfluss auf das Verletzungsrisiko hat. Gleichzeitig zeigte sich, dass je nach Aufprallrichtung unterschiedliche Inputfaktoren einen signifikanten Einfluss auf das Verletzungsrisiko haben. Aus diesem Grund entwickelten *Augenstein et al.* für vier unterschiedlichen Hauptaufprallrichtungen jeweils ein separates Prognosemodell. Zur Schätzung der Parameter der logistischen Funktionen nutzten sie die Unfalldaten der NASS/CDS-Datenbank der Jahre 1995 bis 1999.

Der URGENCY-Algorithmus stellt einen Ansatz zur Prognose der Verletzungsintensität bei Verkehrsunfällen dar. Für die Prognose sind neben Informationen der Fahrzeugsensorik Informationen erforderlich, die im Gespräch mit den Fahrzeuginsassen oder zufällig anwesenden Unfallzeugen erhoben werden müssen. Wird die Prognose des URGENCY-Algorithmus nur zur Unterstützung der Entscheidung der Paramedics über den Transport des Verletzten in ein Trauma-Center genutzt, ist dies unproblematisch, da diese Informationen spätestens mit dem Eintreffen der Paramedics an der Unfallstelle

bekannt werden. Soll die Prognose allerdings zur Unterstützung der Dispositionsentscheidung über das adäquate Rettungsmittel eingesetzt werden, wie es insbesondere im deutschen Rettungssystem wichtig wäre, sollten alle erforderlichen Informationen bereits mit der automatischen Unfallmeldung in die Rettungsleitstelle übertragen werden. Es ist zu untersuchen, welche Prognosegüte erzielt werden kann, wenn ausschließlich durch die Fahrzeugsensorik erfassbare Informationen als Inputfaktoren genutzt werden.

## **1.2.2 Telemedizinische Unterstützung von Laien**

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Erhöhung der Hilfsbereitschaft von Laien in Notfallsituationen und eine Verbesserung der Qualität der Erste-Hilfe-Maßnahmen durch den Einsatz von telemedizinischen Technologien erzielt werden können.

### **1.2.2.1 Steigerung der Hilfsbereitschaft durch telemedizinische Unterstützung**

Zur Verbesserung der Erste-Hilfe-Maßnahmen von Laien nach einem Herz-Kreislauf-Stillstand wurde an der Georg-August-Universität Göttingen das Pilotprojekt RUFAN (Reanimation unter fernmündlicher Anleitung) zur Herz-Lungen-Wiederbelebung durch Erst-Helfer gestartet [Rufan2005, Bahr2001a]. Das Projekt stützt sich auf die entsprechenden Erfahrungen in den USA. Nachdem in Seattle beobachtet wurde, dass trotz steigender Anzahl der ausgebildeten Erst-Helfer der Anteil der Erst-Helfer-Reanimationen stagnierte, wurde 1984 das Telephone-CPR Project gestartet. Es wurde versucht, den anrufenden Zeugen eines Kreislaufstillstandes detaillierte Anleitungen nach einem Abfrageschema zur Wiederbelebung zu geben. Im Durchschnitt wurde von den anrufenden Zeugen etwa 2 Minuten nach der Notrufmeldung mit einer CPR (Cardiopulmonary Resuscitation) begonnen. Dadurch konnte die Hilfsbereitschaft gesteigert und der Anteil der Notfallpatienten, die von Laien bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes reanimiert wurden, von 32% auf 54% erhöht werden [Culley1991]. In verschiedenen Städten und Regionen der USA wurde daraufhin die telefonische Unterstützung medizinischer Laien durch die Disponenten der Rettungsleitstellen eingeführt. Eine Zunahme der Inzidenz reanimationsbedingter Schäden wurde nicht beobachtet [Bahr2001]. In Göttingen wurde ein deutschsprachiges Abfrage- und Anleitungsprotokoll für Reanimationen entwickelt und validiert. Das Anleitungsprotokoll wurde in der Leitstelle der Berufsfeuerwehr Göttingen implementiert und wird aktuell in der Praxis getestet.

### 1.2.2.2 Verbesserung der Qualität und Effektivität der Laienhilfe

In Simulationsstudien zeigte sich, dass Laien ohne vorhergehendes Reanimations-training eine ähnliche Leistung bei der Durchführung einer telefonisch angeleiteten Herz-Lungen-Wiederbelebung entwickelten wie im Vorfeld trainierte Laien. Telefonisch angeleitete Laien begannen aufgrund der für die Anleitung erforderlichen Zeit allerdings im Mittel erst 4 Minuten nach dem Herz-Kreislauf-Stillstand mit der Reanimation. Im Vorfeld trainierte Personen begannen bereits nach 1,2 Minuten [Kellermann1989]. Von *Rea et al.* [Rea2001] wurde nun untersucht, ob die telefonische Anleitung von Laien neben der Erhöhung der Bereitschaft zur Durchführung einer Reanimation auch tatsächlich einen Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit hat. Es wurden dazu 7.265 Herz-Kreislauf-Stillstände außerhalb eines Krankenhauses in King County, Washington mit einer multivariaten Analyse<sup>27</sup> ausgewertet und dabei in die drei Gruppen *keine Laienreanimation*, *Laienreanimation nach telefonischer Anleitung* und *Laienreanimation ohne telefonische Anleitung* unterteilt. Die gesamte Überlebenswahrscheinlichkeit über alle Gruppen betrug 15,3%. In der Gruppe *Laienreanimation mit telefonischer Anleitung* war die Überlebenswahrscheinlichkeit um den Faktor (*odds ratio*) 1,45 höher als in der Gruppe *keine Laienreanimation*. In der Gruppe *Laienreanimation ohne telefonische Anleitung* lag der Faktor bei 1,69. Die Überlebenswahrscheinlichkeit lag damit bei Personen, bei denen eine Reanimation mit telefonischer Anleitung durchgeführt wurde, deutlich höher als bei Personen, die keine Reanimation erhalten haben. Eine telefonische Anleitung kann allerdings eine Grundausbildung von Laien nicht ersetzen, da in zeitkritischen Notfallsituationen sich die Zeit für die Anleitung der Laien bereits negativ auf die Überlebenswahrscheinlichkeit auswirkt.

In der Literatur fanden sich keine Studien, bei denen die Effektivität einer telefonischen Anleitung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen nach traumatologischen Verletzungen untersucht wurde.

Zur Verbesserung der Versorgung von Notfallpatienten durch medizinische Laien in Flugzeugen, auf Schiffen oder in abgelegenen Gebieten, in denen keine sofortige professionelle Notfallversorgung möglich ist, wurden von verschiedenen Herstellern Telemedizinssysteme entwickelt. Diese Systeme ermöglichen die Messung von Vitalparametern der Patienten (12 Kanal-EKG, Blutdruck, Temperatur, Puls, blood oxygen level, respiration rate und exhaled CO<sub>2</sub>) und die Übertragung der Daten in Echtzeit per Satellitenkommunikation an eine medizinische Zentrale. Über eine Sprach- und Videokommunikation kann das medizinische Personal in der Zentrale Diagnosen erstel-

---

<sup>27</sup> Logistisches Regressionsmodell; einbezogene Kontrollvariablen: Alter, Geschlecht, Ausbildungsstand der Laien, Ort und Zeit vom Herz-Kreislauf-Stillstand bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes.



len und die medizinischen Laien zur Durchführung der richtigen Therapiemaßnahmen anleiten.<sup>28</sup> Nach einem ähnlichen Prinzip hat die Charité<sup>29</sup> im Rahmen einer Kooperation mit Lufthansa ein Telemedizinsystem entwickelt, das zur Unterstützung der Flugbegleiter bei der Behandlung von Notfällen an Bord von Luftfahrzeugen eingesetzt werden soll. Das System steht kurz vor der Praxiserprobung. Daher liegt noch kein Ergebnis zur Effektivität vor.

---

<sup>28</sup> Tempus 2000 System, Remote Diagnostic Technologies Ltd, <http://www.rdtltd.com>; TeleMedic Systems, <http://www.telemedicsystems.com>; EU-Forschungsprojekt HERMES, <http://www.hermes.ed.ac.uk>

<sup>29</sup> Gemeinschaftsprojekt des Institutes für Pathologie, Digitale Pathologie und EDV und der Klinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe, Arbeitsgruppe Medizin- und Bioinformatik

### **1.3 Voruntersuchung: Einfluss einer telemedizinischen Unterstützung von Laien auf die Hilfsbereitschaft nach Straßenverkehrsunfällen**

Die Voraussetzung für eine Verkürzung des therapiefreien Intervalls durch Laienhilfe ist einerseits, dass am Unfallort anwesende Personen vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes bereit sind, Erste-Hilfe zu leisten, und andererseits, dass von diesen Personen die richtigen Maßnahmen in ausreichender Qualität durchgeführt werden. Beide Aspekte - die Hilfsbereitschaft und die Kompetenz von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen - sollen durch eine telemedizinische Unterstützung positiv beeinflusst werden.

Zu dieser Arbeit wurde eine Voruntersuchung durchgeführt, um die Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft sowie auf ihre Steigerung bei einer telemedizinischen Unterstützung von Laien zu analysieren [Issing2005]. Die Kenntnis der Einflussfaktoren ist eine wichtige Voraussetzung für die Gestaltung des Telemedizinssystems.

#### **1.3.1 Stand der Forschung zum Hilfeverhalten und zur Hilfsbereitschaft**

Die Hilfsbereitschaft von Laien in Notfallsituationen resultiert aus einem Hilfeverhalten, das hier synonym mit dem Begriff des altruistischen Verhaltens verwendet wird und von *Bierhoff* wie folgt definiert wurde: Das Hilfeverhalten stellt eine Wohltat für eine konkrete Person oder Personengruppe dar, dies geschieht 2) auf der Basis einer Intention, der anderen Person eine Wohltat zu erweisen und 3) bei Freiwilligkeit und bei Fehlen einer dienstlichen Verpflichtung [Bierhoff1998].

Für die Erklärung der Entscheidungsfindung von Laien, ob sie in einer Notfallsituation intervenieren oder ob sie sich passiv verhalten, wurden unterschiedliche Prozessmodelle entwickelt [Bierhoff1990, Bierhoff1990A]. Nach *Latané und Darley* durchläuft ein potentieller Helfer vor einer Intervention fünf verschiedene Entscheidungsphasen, in denen sich dispositionale Einflüsse und situative Merkmale bemerkbar machen: Um über das Eingreifen zu entscheiden, muss er zunächst das Ereignis wahrnehmen, das zu der Notfallsituation geführt hat (Phase 1) und es als Notfall interpretieren (Phase 2). In der folgenden Phase muss er begreifen, dass er in der Verantwortung ist zu helfen (Phase 3) und entscheiden, welche Art von Hilfe er leisten kann und ob er dafür kompetent genug ist (Phase 4). In der letzten Phase wird von ihm endgültig die Entscheidung getroffen, ob die Hilfsleistung wirklich ausgeführt werden soll (Phase 5) [Darley1968].

Obwohl die Erforschung des Hilfeverhaltens in der Psychologie bereits in den sechziger Jahren begonnen wurde, fehlen umfassende Untersuchungen über die Motive und Persönlichkeitsmerkmale, die zu einer Hilfeleistung nach Straßenverkehrsunfällen führen [Axelsson2000, Bierhoff1998].

Die Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft lassen sich nach *Walz* in drei Kategorien unterteilen: *Merkmale des Unfallzeugen*, *Merkmale der Situation* und *Merkmale des Opfers*.

Von *Axelsson et al.* und von *Bierhoff* wurden mit Hilfe von Interviews, schriftlichen Befragungen und Beobachtungsverfahren Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft identifiziert, die sich insbesondere auf die *Merkmale des Unfallzeugen* beziehen und aus seiner Perspektive die Vorteile und Risiken des Helfens darstellen.

*Axelsson et al.* untersuchten diese Einflussfaktoren anhand der Hilfeleistung nach Herz-Kreislaufstillständen [Axelsson2000]. Sie identifizierten folgende Faktoren, die die Bereitschaft zur Durchführung einer Herz-Lungen-Wiederbelebung positiv beeinflussen: *Gefühl der Menschlichkeit*, *Kompetenz haben*, *sich verpflichtet fühlen*, *Mut haben* und *sich exponiert fühlen*. Eine negative Wirkung zeigten die Faktoren: *sich alleine oder machtlos fühlen*, *Ambivalenz oder Unsicherheit empfinden* und *Widerwillen verspüren*.

Von *Bierhoff* wurden als Vorteile der Hilfeleistung folgende Faktoren benannt [Bierhoff1990]: *Neugier befriedigen*, *Mitgefühl ausdrücken*, *Kenntnisse zeigen*, *Schutz vor strafrechtlicher Verfolgung*, *Gewissen beruhigen*, *persönliche Kontakte knüpfen*, *Anerkennung erhalten*, *Solidarität zeigen*, *Selbstwertgefühl steigern* und *materielle Vorteile*. Als Risiken der Hilfeleistung identifizierte er die Faktoren: *juristisches Nachspiel*, *Zeitverlust*, *zurückgewiesen werden*, *sich in Gefahr begeben*, *überfordert sein*, *materielle Einbussen erleiden*, *Fehler bei Erste-Hilfe begehen* und *weitere Unfälle verursachen*. Unter Einbeziehung von Persönlichkeitsmerkmalen identifizierte *Bierhoff* als wichtigste Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft das *Kompetenzgefühl*, das *situationsspezifische Verantwortungsgefühl*, das *Alter* sowie der *Ausbildungsstand* des potentiellen Helfers.

Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft, die sich auf die *Merkmale der Situation* beziehen, sind u. a. die Ambiguität der Situation, d.h. die Unsicherheit, ob es sich tatsächlich um einen Notfall handelt, die Anwesenheit und Anzahl anderer Unfallzeugen und der Zeitpunkt des Eintreffens am Unfallort [Darley1968, Bierhoff1990]. Einflussfaktoren, die sich auf die *Merkmale des Opfers* beziehen, sind u. a. die Ursachenattribu-

tion<sup>30</sup> sowie die Anwesenheit von Blut und unangenehmen physischen Merkmalen (z.B. Übergeben, falsche Zähne, Alkoholgeruch) [Brenner1997].

### 1.3.2 Zielsetzung der Voruntersuchung

In der Voruntersuchung zu dieser Arbeit wurden die Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft der zufällig am Unfallort anwesenden Laien nach Straßenverkehrsunfällen analysiert. Dabei wurde der Schwerpunkt auf Faktoren gelegt, die durch ein Telemedizinssystem beeinflusst werden können. Desweiteren wurde untersucht, ob die Verfügbarkeit eines Systems zur telemedizinischen Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen zu einer Steigerung der Hilfsbereitschaft führen kann und welche Faktoren dafür verantwortlich sind.

### 1.3.3 Methodik der Voruntersuchung

Zur Durchführung der Untersuchung wurden Personen aus dem Großraum Berlin aufgefordert, ihre spontane Hilfsbereitschaft einzuschätzen, nachdem sie zwei unterschiedliche Unfallszenarien mit schwerverletzten Personen geschildert bekamen. Sie sollten sich jeweils vorstellen, dass sie am Unfallort anwesend sind, bevor der Rettungsdienst eintrifft. Im ersten Szenario stand den anwesenden Personen am Unfallort als Hilfsmittel nur der in PKWs gesetzlich vorgeschriebene Verbandskasten zur Verfügung. Im zweiten Szenario sollten sich die Befragten vorstellen, dass sie einen telemedizinischen Notfallkoffer (TNK) nutzen können. Dabei handelt es sich um einen erweiterten Verbandskasten, über den der Unfallhelfer eine direkte Verbindung (mit Bild- und Tonübertragung) zu einem Arzt in einem Call-Center aufnehmen kann, der ihn bei der Durchführung der richtigen Erste-Hilfe-Maßnahmen anleitet.

Die Personen wurden neben der Einschätzung ihrer spontanen Hilfsbereitschaft nach Faktoren befragt, die Einfluss auf das Hilfeverhalten ausüben können. Auf diesem Weg wurde analysiert, welche die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft im dargestellten Szenario sind und wie sich ihre Ausprägungen bei der Verfügbarkeit eines telemedizinischen Notfallkoffers verändern. Die in die Befragung aufgenommenen Einflussfaktoren wurden auf der Grundlage der Literaturanalyse festgelegt.

Für die Befragung wurde eine vollstandardisierte Variante gewählt, die in Form eines Fragebogens mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten operationalisiert wurde. Zur Ver-

---

<sup>30</sup> Wenn ein Unfallopfer als unschuldig angesehen wird, wird ihm viel eher geholfen, als wenn es den Unfall selber verschuldet hat [Batson1998].

ringerung des potentiellen Einflusses von sozialer Erwünschtheit erfolgte die Befragung schriftlich, um externe Effekte durch Geschlecht, Erwartungen und Verhalten des Interviewers auszuschließen. Der Fragebogen wurde den Teilnehmern schriftlich und als Online-Fragebogen (Software *GrafStat*<sup>31</sup>) zur Verfügung gestellt. Die Anonymität der Befragung wurde gewährleistet.

Der Fragebogen stand zwischen Ende Dezember 2004 und Anfang Januar 2005 insgesamt drei Wochen online zur Verfügung. Gleichzeitig wurde er als Druckversion mit Rücksendeumschlag an Freiwillige verteilt, die in Einkaufszentren, in der Universität oder über eine Pressemitteilung geworben wurden.

### Fragebogaufbau

Der Fragebogen war in neun Abschnitte unterteilt: (A) Ausbildung im Bereich Erste-Hilfe, (B) Einschätzung der eigenen Erste-Hilfe-Fähigkeiten, (C) Erfahrungen in Notfallsituationen, (D) Allgemeine Einschätzung zur Hilfeleistung, (E) Einschätzung des Verhaltens nach einem Straßenverkehrsunfall - Szenario ohne TNK, (F) Einschätzung des Verhaltens nach einem Straßenverkehrsunfall - Szenario mit TNK und (G) Angaben zur Person.

Das Unfallszenario wurde wie folgt beschrieben, um eine einheitliche Urteilsgrundlage für die Befragung zu schaffen:

*Sie sind tagsüber in einem Auto unterwegs. Auf einer sonst unbefahrenen Landstraße beobachten Sie, wie ein Auto ins Schleudern kommt und in den Straßengraben fährt. Es befindet sich eine verletzte Person im verunglückten Fahrzeug. Die Person blutet stark am Bein und ist bewusstlos.*

Um die Veränderung der Hilfsbereitschaft durch den Einsatz eines telemedizinischen Notfallkoffers zu erfragen (Szenario mit TNK), wurde folgende Beschreibung gegeben:

*Die Charité - Universitätsmedizin Berlin arbeitet an einem Forschungsprojekt zur Entwicklung eines Notfallsystems (telemedizinischer Notfallkoffer) zur Unterstützung von Unfallhelfern bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes. Bei dem telemedizinischen Notfallkoffer handelt es sich um einen erweiterten Verbandskasten, über den Unfallhelfer eine direkte Verbindung (Bild- und Tonübertragung) mit einem Arzt in einem Call-Center aufnehmen können, der sie bei der Durchführung der richtigen Erste-Hilfe-Maßnahmen anleitet. Stellen Sie sich nun bitte vor, Ihnen steht der teleme-*

---

<sup>31</sup> GrafStat Ausgabe 2004, Version 2.97, <http://www.grafstat.de>

*dizinische Notfallkoffer in der oben beschriebenen Unfallsituation zur Verfügung.*

Für jede Frage wurden Alternativantworten oder 6-stufige bipolare Rating-Skalen vorgegeben. Die Erfassung der Altersangaben sowie der Zeit seit der letzten Erste-Hilfe-Ausbildung erfolgte über eine offene Frage. Durch einen Vorabtest wurde gewährleistet, dass die Fragen verständlich und eindeutig sind.

### **Statistische Auswertung**

Die Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware *SPSS*. Die Alternativantworten wurden in binären Variablen mit einer dichotomen Kodierung (nein=0, ja=1), die Antworten auf Rating-Skalen in metrischen Variablen erfasst. Die metrische Interpretation der Rating-Skalen ist vor dem Hintergrund der Untersuchung von *Binting* in der vorliegenden Situation möglich [Binting1980].

Für die Auswertung wurde zur Messung der Hilfsbereitschaft eine neue Variable (*Hilfsbereitschaft*) gebildet, die dem Mittelwert aus zwei anderen Variablen entspricht. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da aufgrund von Effekten der sozialen Erwünschtheit eine Verzerrung der Angaben auf die direkte Frage nach der Einschätzung der eigenen Hilfsbereitschaft zu erwarten ist. Die erste Variable - auf einer Ratings-Skala erhoben - entspricht den Antworten auf die direkte Frage nach der Bereitschaft zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen. Die zweite Variable - auch auf einer Ratings-Skala erhoben - enthält die Negation der Antworten auf die Frage nach dem Unterlassen von Erste-Hilfe-Leistungen.

Für die Auswertung der Daten wurden zunächst eine bivariate und anschließend eine multivariate Analyse durchgeführt. Für die bivariate Analyse wurden die Korrelationskoeffizienten nach *Pearson* zwischen den untersuchten Einflussfaktoren und der Variable Hilfsbereitschaft (bzw. Steigerung der Hilfsbereitschaft) berechnet. Die multivariate Analyse wurde mit Hilfe der linearen Regression mit den Einflussfaktoren als Regressoren (unabhängige Variablen) und der abhängigen Variable Hilfsbereitschaft (bzw. Steigerung der Hilfsbereitschaft) durchgeführt. Die Auswahl der unabhängigen Variablen, die in das multivariate Modell zur Erklärung der abhängigen Variable aufgenommen wurden, erfolgte mit der *SPSS*-Funktion (*Stepwise*) zur automatischen Modellsuche, die mit Signifikanztests schrittweise über die Aufnahme weiterer Regressoren in das Modell entscheidet.

### 1.3.4 Ergebnisse der Voruntersuchung

Im Rahmen der Untersuchung wurden 132 zufällig ausgewählte Personen in einem Alter zwischen 17 und 83 Jahren (47,7% Frauen und 52,3% Männer) befragt.

Insgesamt 92,4% der Befragten haben in ihrem Leben bereits an mindestens einer Erste-Hilfe-Ausbildung teilgenommen. Etwas mehr als die Hälfte dieser Personen hat einen Kurs für lebensrettende Sofortmaßnahmen besucht. 44,3% der Befragten hatten eine erweiterte Erste-Hilfe-Ausbildung absolviert. Bei 28,8% lag die Ausbildung weniger als 5 Jahre zurück. Insgesamt 13,6% verfügten über eine Ausbildung in einem medizinischen Beruf. Trotz des sehr hohen Anteils an Personen, die bereits eine Erste-Hilfe-Ausbildung absolviert haben, gaben nur 5,3% der Befragten an, dass sie genau wüssten, wie eine Herz-Lungen-Wiederbelebung (HLW) durchzuführen ist. 17,4% der Personen gaben an, dass sie überhaupt nicht wüssten, was zu tun ist (vgl. Tab.1).

39,4% der Befragten hatten bereits mindestens eine Notfallsituation erlebt, in der eine Person aufgrund einer schweren Verletzung oder eines lebensbedrohlichen medizinischen Notfalls Erste-Hilfe benötigt hat. Bei 65,4% dieser Personen war die Notfallsituation Folge eines Straßenverkehrsunfalls.

**Tabelle 1.** Ausprägung der Einflussfaktoren (ohne TNK)

Einflussfaktoren	0	1	2	3	4	5	Mittelwert
Angaben in Prozent	trifft nicht zu			trifft zu			
Angst vor Fehlern	9,9	19,8	16,8	17,6	22,1	13,7	2,6
Angst vor juristischen Konsequenzen	34,4	21,4	9,2	13,0	9,9	12,2	1,8
Angst vor eigener Gefährdung	17,2	27,3	19,5	19,5	10,2	6,3	2,0
Angst vor Ansteckung	27,3	25,0	16,7	12,1	9,1	9,8	1,8
sich überfordert fühlen	19,1	34,4	21,4	14,5	9,9	0,8	1,6
Erste-Hilfe ist gesellschaftliche Pflicht	0	0,8	2,3	3,8	11,4	81,8	4,7
	schlecht			sehr gut			
Erste-Hilfe-Fähigkeit (allgemein)	4,5	18,2	30,3	28,0	15,9	3,0	2,4
Erste-Hilfe-Fähigkeit (HLW)	17,4	15,9	17,4	25,0	18,9	5,3	2,3
	gering			hoch			
Hilfsbereitschaft	1,5	2,3	6,8	15,2	43,9	30,3	3,9

Für das im Fragebogen dargestellte Notfallszenario ohne TNK wurden auf einer Skala von 0 (trifft nicht zu) bis 5 (trifft zu) die Ausprägungen ausgewählter Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft abgefragt (Tab. 1). In den Mittelwerten wurden die Einflussfaktoren *sich überfordert fühlen* (1,6), *Angst vor juristischen Konsequenzen* (1,8) und *Angst vor eigener Gefährdung* (2,0) sowie *Angst vor Ansteckung* (1,8) tendenziell als *nicht zutreffend* bewertet, während der Aussage *Erste-Hilfe ist gesellschaftliche*

*Pflicht* mit einem Mittelwert von 4,7 deutlich zugestimmt wurde. Rund 30% der Befragten schätzten ihre Hilfsbereitschaft nach dem vorgegebenen Notfallszenario als hoch ein, während nur 1,5% die eigene Hilfsbereitschaft als gering beurteilten.

Die Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der bivariaten Analyse des Zusammenhangs zwischen Hilfsbereitschaft und den ausgewählten Einflussfaktoren. Eine hochsignifikante und positive Korrelation ist zwischen der Hilfsbereitschaft und dem Umfang der Erste-Hilfe-Ausbildung, der subjektiven Selbsteinschätzung der Erste-Hilfe-Fähigkeit sowie dem Geschlecht des Helfenden zu beobachten. Bei einer positiven Einstellung des potentiellen Helfers bezüglich der sozialen Verpflichtung zur Hilfeleistung fällt auch die Hilfsbereitschaft höher aus. Dieser Zusammenhang zeigt sich in der hochsignifikanten und positiven Korrelation zwischen der Variable *Erste-Hilfe ist gesellschaftliche Pflicht* und der Hilfsbereitschaft. Hochsignifikant und negativ korrelieren die hemmenden Faktoren *Angst vor Fehlern*, *sich überfordert fühlen*, *Angst vor juristischen Konsequenzen*, *Angst vor Ansteckung* und *Angst vor eigener Gefährdung*. Keine signifikante Korrelation mit der Hilfsbereitschaft liegt bei den Variablen *Alter*, *medizinische Ausbildung*, *Zeit seit der letzten Erste-Hilfe-Ausbildung* und *Notfallsituation erlebt* vor.

**Tabelle 2.** Bivariate Analyse der Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft (ohne TNK)

Unabhängige Variablen	Skala	Hilfsbereitschaft	
		Korrelation	Signifikanz
Geschlecht (w=0; m=1) **	d	0,258	0,003
Alter	m	-0,094	0,282
medizinische Ausbildung	d	-0,123	0,160
Erste-Hilfe-Ausbildung (einfach) *	d	-0,180	0,040
Erste-Hilfe-Ausbildung (erweitert) **	d	0,292	0,001
Zeit seit der letzten Ausbildung	m	-0,095	0,302
Erste-Hilfe-Fähigkeit (allgemein) **	m	0,365	0,000
Erste-Hilfe-Fähigkeit (HLW) **	m	0,401	0,000
Notfallsituation erlebt	d	0,130	0,138
Straßenverkehrsunfall erlebt *	d	0,196	0,024
Angst vor Fehlern **	m	-0,421	0,000
Angst vor juristischen Konsequenzen **	m	-0,329	0,000
Angst vor eigener Gefährdung **	m	-0,319	0,000
Angst vor Ansteckung **	m	-0,324	0,000
sich überfordert fühlen **	m	-0,330	0,000
Erste-Hilfe ist gesellschaftliche Pflicht **	m	0,346	0,000

\* Signifikanz-Niveau 0,05; \*\* Signifikanz-Niveau 0,01

Bei metrisch (m) kodierten Variablen entspricht der Korrelationskoeffizient dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson. Bei dichotom (d) kodierten Variablen (nein=0, ja=1) entspricht der Korrelationskoeffizient dem Phi-Koeffizienten.



In der multivariaten Analyse der Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft wurden die vier Variablen *Erste-Hilfe-Fähigkeit (HLW)*, *Angst vor eigener Gefährdung*, *Angst vor Fehlern* und *Erste-Hilfe ist gesellschaftliche Pflicht* ausgewählt, die die beste Erklärung der Variation der abhängigen Variable (*Hilfsbereitschaft*) ermöglichen (Tab. 3). Diese Variablen repräsentieren damit die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft im vorgegebenen Szenario. Mit steigender Erste-Hilfe-Fähigkeit der potentiellen Helfer und zunehmender Ansicht, dass Erste-Hilfe eine gesellschaftliche Pflicht ist, nimmt die Hilfsbereitschaft zu. Die wichtigsten hemmenden Faktoren sind einerseits die Angst, bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen Fehler zu machen und dabei dem Unfallopfer mehr zu schaden als zu helfen, und andererseits die Angst, sich bei der Hilfeleistung selbst in Gefahr zu begeben.

**Tabelle 3.** Multivariate Analyse der Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft (ohne TNK)

Modell-Variablen	Regressions- koeffizient (standardisiert)	Signifikanz
Erste-Hilfe-Fähigkeit (HLW) **	0,249	0,009
Angst vor eigener Gefährdung **	-0,231	0,011
Angst vor Fehlern **	-0,226	0,020
Erste-Hilfe ist gesellschaftliche Pflicht **	0,225	0,013

\*\* Signifikanz-Niveau 0,01

*Abhängige Variable: Hilfsbereitschaft*

*Einbezogene unabhängige Variablen: siehe Tabelle 2*

*Modellgüte (R-Quadrat) = 0,347*

Nach den Fragen zur Einschätzung des eigenen Verhaltens bei einem Straßenverkehrsunfall wurde im Fragebogen die Funktionsweise des telemedizinischen Notfallkoffers erklärt und anschließend abgefragt, ob die Verfügbarkeit eines entsprechenden Systems zu einer Steigerung der eigenen Hilfsbereitschaft führen würde. Anschließend wurden im Fragebogen wieder Einflussfaktoren erhoben, auf die die Steigerung der Hilfsbereitschaft zurückgeführt werden könnte. In der Tabelle 4 sind die Häufigkeitsverteilung und die Mittelwerte der Angaben zur Steigerung der Hilfsbereitschaft und zu den Einflussfaktoren enthalten.

Mit einem Mittelwert von 3,85 wurde die Steigerung der eigenen Hilfsbereitschaft bei der Verfügbarkeit eines telemedizinischen Notfallkoffers mehrheitlich als zutreffend bewertet. Deutlich wurde auch den Aussagen zugestimmt, sich bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen nicht mehr überfordert zu fühlen (Mittelwert 3,46) und bereit zu sein, sich telemedizinisch anleiten zu lassen (Mittelwert 4,53). Bei einer telemedizinischen Anleitung wurden in den Mittelwerten die Einflussfaktoren *keine Angst mehr vor Fehlern* (2,96), *keine Angst mehr vor juristischen Konsequenzen* (2,93), die

*eigene Gefährdung sinkt* (2,82) und die *Ansteckungsgefahr sinkt* (2,92) tendenziell als zutreffend bewertet. Mehrheitlich abgelehnt wurde die Aussage, dass eine telemedizinische Anleitung bei den Helfenden zu der Angst führen kann, die Anweisungen des Arztes nicht richtig umsetzen zu können und somit vor anderen zu versagen (1,27).

**Tabelle 4.** Ausprägung der Einflussfaktoren (mit TNK)

Einflussfaktoren	0	1	2	3	4	5	Mittelwert
Angaben in Prozent	trifft nicht zu			trifft zu			
Steigerung der Hilfsbereitschaft	7,6	4,5	2,3	14,4	23,5	47,7	3,85
Sich nicht mehr überfordert fühlen	5,4	6,9	6,2	26,9	26,9	27,7	3,46
Keine Angst mehr vor Fehlern	13,8	9,2	11,5	20,8	21,5	23,1	2,96
Keine Angst mehr vor jur. Konsequenzen	16,9	13,8	6,2	16,2	16,2	30,8	2,93
Eigene Gefährdung sinkt	17,6	7,6	12,2	21,4	20,6	20,6	2,82
Ansteckungsgefahr sinkt	16,8	11,5	6,9	19,1	19,8	26,0	2,92
Bereitschaft, sich anleiten zu lassen	2,3	0,8	1,5	4,6	19,1	71,8	4,53
Angst zu versagen	43,9	23,5	9,1	12,9	6,1	4,5	1,27

Die Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der bivariaten Analyse der Einflussfaktoren auf die Steigerung der Hilfsbereitschaft bei Verfügbarkeit eines telemedizinischen Notfallkoffers. Eine hoch signifikante negative Korrelation zeigt sich zwischen der subjektiven Selbsteinschätzung der Erste-Hilfe-Fähigkeiten (allgemein und HLW) und der Steigerung der Hilfsbereitschaft. Personen, die ihre Fähigkeiten zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen als schlecht einschätzen, haben damit tendenziell die Steigerung ihrer Hilfsbereitschaft als hoch bewertet, während Personen mit guten Fähigkeiten die Steigerung tendenziell als gering werteten. Dieser Zusammenhang zeigt, dass durch die telemedizinische Unterstützung eine Erhöhung der Hilfsbereitschaft insbesondere bei Personen erzielt werden kann, die über schlechte Erste-Hilfe-Fähigkeiten verfügen.

Ein weiterer hochsignifikanter Einflussfaktor auf die Steigerung der Hilfsbereitschaft ist die Angst vor Fehlern bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen. Personen, bei denen der Einflussfaktor *Angst vor Fehlern* zutrifft, zeigen auch eine hohe Steigerung ihrer Hilfsbereitschaft bei der Verfügbarkeit eines telemedizinischen Notfallkoffers. Weitere auf einem Niveau von  $\alpha=0,05$  signifikante Einflussfaktoren sind das Alter der potentiellen Erst-Helfer und die Erfahrungen bei Straßenverkehrsunfällen (*Straßenverkehrsunfall erlebt*). Mit zunehmendem Alter und bei Personen, die bereits einen Straßenverkehrsunfall erlebt haben, fällt die Steigerung der Hilfsbereitschaft durch eine telemedizinische Unterstützung geringer aus.

Unter den Einflussfaktoren, die nur im Szenario mit TNK abgefragt wurden, zeigt sich beim Faktor *Bereitschaft sich anleiten zu lassen* die stärkste und gleichzeitig hoch-

signifikante Korrelation mit der Steigerung der Hilfsbereitschaft. Eine telemedizinische Unterstützung hat nur dann eine positive Wirkung auf die Hilfsbereitschaft, wenn die potentiellen Helfer bereit sind, sich bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen anleiten zu lassen und den Anweisungen des Arztes im Call Center zu folgen.

**Tabelle 5.** Bivariate Analyse der Einflussfaktoren auf die Steigerung der Hilfsbereitschaft (mit TNK)

Unabhängige Variablen	Skala	Steigerung der Hilfsbereitschaft	
		Korrelation	Signifikanz
Geschlecht (w=0; m=1)	d	-0,084	0,336
Alter *	m	-0,213	0,014
medizinische Ausbildung	d	0,077	0,383
Erste-Hilfe-Ausbildung (einfach)	d	0,141	0,107
Erste-Hilfe-Ausbildung (erweitert)	d	0,148	0,091
Zeit seit der letzten Ausbildung	m	-0,082	0,376
Erste-Hilfe-Fähigkeit (allgemein) **	m	-0,338	0,000
Erste-Hilfe-Fähigkeit (HLW) **	m	-0,266	0,002
Notfallsituation erlebt	d	-0,154	0,077
Straßenverkehrsunfall erlebt *	d	-0,215	0,013
Angst vor Fehlern **	m	0,319	0,000
Angst vor juristischen Konsequenzen	m	0,146	0,097
Angst vor eigener Gefährdung	m	0,088	0,323
Angst vor Ansteckung	m	0,055	0,531
Sich überfordert fühlen	m	0,093	0,289
Erste-Hilfe ist gesellschaftliche Pflicht	m	0,009	0,921
Hilfsbereitschaft (ohne TNK)	m	-0,064	0,463
Sich nicht mehr überfordert fühlen **	m	0,530	0,000
Keine Angst mehr vor Fehlern **	m	0,272	0,002
Keine Angst mehr vor jur. Konsequenzen **	m	0,401	0,000
Eigene Gefährdung sinkt **	m	0,352	0,000
Ansteckungsgefahr sinkt **	m	0,416	0,000
Bereitschaft, sich anleiten zu lassen **	m	0,609	0,000
Angst zu versagen	m	-0,098	0,262
Einstellung zu elektronischen Geräten	m	-0,112	0,202

\* Signifikanz-Niveau 0,05; \*\* Signifikanz-Niveau 0,01

Bei metrisch (m) kodierten Variablen entspricht der Korrelationskoeffizient dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson. Bei dichotom (d) kodierten Variablen (nein=0, ja=1) entspricht der Korrelationskoeffizient dem Phi-Koeffizienten.

Die in der Befragung vorgegebenen Begründungen für die Steigerung der Hilfsbereitschaft bei der Verfügbarkeit eines telemedizinischen Notfallkoffers korrelieren fast alle hochsignifikant und positiv mit dieser Steigerung (*sich nicht mehr überfordert fühlen, Ansteckungsgefahr sinkt, keine Angst mehr vor juristischen Konsequenzen, eigene Gefährdung sinkt, keine Angst mehr vor Fehlern*). Keine signifikante Korrelation zei-

gen u. a. die Variablen *Angst zu versagen* und *Einstellung zu elektronischen Geräten*. Mit der Variable *Einstellung zu elektronischen Geräten* wurde die Affinität der befragten Personen zu neuer Technik auf einer Rating-Skala erhoben. Ein niedriger Wert der Variable steht für einen problemlosen Umgang und ein hoher Wert für generelle Schwierigkeiten im Umgang mit elektronischen Geräten.

Die Ergebnisse der multivariaten Analyse der Einflussfaktoren auf die Steigerung der Hilfsbereitschaft sind in Tabelle 6 dargestellt. Im Rahmen der von SPSS unterstützten automatischen Modellsuche wurden aus den vorgegebenen Einflussfaktoren (siehe Tab. 5) die folgenden sechs Variablen ausgewählt, die die beste Erklärung der Varianz der abhängigen Variable (*Steigerung der Hilfsbereitschaft*) ermöglichen: *Erste-Hilfe-Fähigkeit (HLW)*, *Angst vor Fehlern*, *medizinische Ausbildung*, *Einstellung zu elektronischen Geräten*, *Ansteckungsgefahr sinkt* und *sich nicht mehr überfordert fühlen*.

**Tabelle 6.** Multivariate Analyse der Einflussfaktoren auf die Steigerung der Hilfsbereitschaft (mit TNK)

Modell-Variablen	Regressionskoeffizient (standardisiert)	Signifikanz
Erste-Hilfe-Fähigkeit (HLW) **	-0,202	0,009
Angst vor Fehlern *	0,145	0,038
medizinische Ausbildung *	-0,143	0,045
Einstellung zu elektronischen Geräten **	-0,181	0,008
Ansteckungsgefahr sinkt **	0,250	0,000
Sich nicht mehr überfordert fühlen **	0,230	0,002

\* Signifikanz-Niveau 0,05; \*\* Signifikanz-Niveau 0,01

*Abhängige Variable: Steigerung der Hilfsbereitschaft*  
*Einbezogene unabhängige Variablen: siehe Tabelle 5*  
*Modellgüte (R-Quadrat) = 0,600*

Eine hohe Steigerung der Hilfsbereitschaft durch die Verfügbarkeit eines telemedizinischen Notfallkoffers kann damit bei Personen erwartet werden,

- deren subjektive und objektive Erste-Hilfe-Fähigkeit<sup>32</sup> gering ist,
- die ohne eine telemedizinische Unterstützung Angst vor Fehlern bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen haben,

<sup>32</sup> Die subjektive Erste-Hilfe-Fähigkeit wurde durch die Frage nach der Selbsteinschätzung der eigenen Fähigkeiten zur Durchführung einer Herz-Lungen-Wiederbelebung (HLW) erhoben. Es wird davon ausgegangen, dass die objektive Fähigkeit zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen mit der Ausbildung im einem medizinischen Beruf korreliert. Diese Information wurde mit der dichotom kodierten Variable *medizinische Ausbildung* (nein=0, ja=1) abgefragt.

- die davon ausgehen, dass sie sich in der Unfallsituation durch die telemedizinische Anleitung nicht mehr überfordert fühlen würden und dass die Ansteckungsgefahr mit einer professionellen Unterstützung bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen sinkt und
- die keine Schwierigkeiten beim Umgang mit elektronischen Geräten haben.

Für das Regressionsmodell mit den ausgewählten Einflussfaktoren (unabhängigen Variablen) wurde eine Modellgüte nach *R-Quadrat* von 0,600 berechnet. Dieser Wert spricht für eine sehr gute Anpassung des Gesamtmodells. Bei einem Wert von eins würde die Varianz der abhängigen Variable vollständig durch die unabhängigen Variablen erklärt werden können.

### 1.3.5 Diskussion der Ergebnisse der Voruntersuchung

Als wichtigste Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft nach Straßenverkehrsunfällen wurden in der multivariaten Analyse der Befragungsergebnisse die vier Faktoren *Erste-Hilfe-Fähigkeit (HLW)*, *Erste-Hilfe ist gesellschaftliche Pflicht*, *Angst vor eigener Gefährdung* und *Angst vor Fehlern* identifiziert. Der Faktor *Erste-Hilfe-Fähigkeit (HLW)* kann als gefühlte Kompetenz der befragten Personen zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen interpretiert werden, da die Fähigkeit zur Durchführung einer Herz-Lungen-Wiederbelebung nicht in einem objektiven Test sondern mit einer Frage nach der Selbsteinschätzung der Fähigkeiten erhoben wurde. Die Ausprägung des Faktors *Erste-Hilfe ist gesellschaftliche Pflicht* kann als Maß für das Verantwortungsgefühl der Befragten zur Erste-Hilfe-Leistung verstanden werden.

Zu ähnlichen Ergebnisse kamen *Axelsson et al.* in einer Interviewstudie [Axelsson2000]. In ihrer qualitativen Auswertung wurden Faktoren herausgefiltert, die das Hilfeverhalten in einer akuten Notfallsituation (Herz-Kreislauf-Versagen) positiv oder negativ beeinflusst haben. Trotz der methodisch unterschiedlichen Herangehensweise wurden ebenfalls die Faktoren der gefühlten Verpflichtung und der Kompetenz als wichtigste Determinanten identifiziert. Diese stimmen auch mit den von *Bierhoff et al.* ermittelten Einflussfaktoren überein [Bierhoff1990]. In dem Entscheidungsmodell von *Latané* und *Darley* können diese Einflussfaktoren mit der Entscheidungsphase 3 (realisieren, dass man in der Verantwortung ist zu helfen) und der Phase 4 (entscheiden, welche Art von Hilfe man geben kann) in Verbindung gebracht werden [Darley1968].

Zusätzlich wurden in der eigenen Untersuchung die hemmenden Faktoren *Angst vor Fehlern* und *Angst vor eigener Gefährdung* als wesentliche Einflussfaktoren identifiziert. Der Faktor *Angst vor Fehlern* korreliert zwar hochsignifikant und negativ mit der Erste-Hilfe-Fähigkeit bzw. der gefühlten Kompetenz, doch beinhaltet er weitere Infor-

mationen über das Risikoempfinden der potentiellen Helfer.

Es stellt sich die Frage, welche der identifizierten Faktoren durch die telemedizinische Unterstützung von Laien so beeinflusst werden können, dass die Bereitschaft der Laien zur Erste-Hilfe-Leistung ansteigt. Anzunehmen ist, dass eine professionelle telemedizinische Anleitung von Laien bei der Durchführung der Maßnahmen zur Erhöhung der gefühlten Kompetenz der Laien führt und die Angst vor Fehlern sowie die Angst vor Ansteckung reduziert. Das Verantwortungsgefühl der potentiellen Helfer ist dagegen ein Persönlichkeitsmerkmal und wird nicht beeinflusst werden können.

Die Ergebnisse der multivariaten Analyse der Einflussfaktoren auf die Steigerung der Hilfsbereitschaft bei Verfügbarkeit eines Telemedizin systems stimmen gut mit der vermuteten Wirkung des Systems überein. Eine hohe Steigerung tritt bei Personen auf, deren gefühlte Kompetenz gering ist und die keine medizinische Ausbildung haben. Aufgrund dieses Effektes kann davon ausgegangen werden, dass eine telemedizinische Anleitung das Kompetenzgefühl der potentiellen Helfer erhöht. Für diese Annahme spricht auch, dass der Faktor *sich nicht mehr überfordert fühlen* zu den ausgewählten Variablen des Regressionsmodells zur Erklärung der Varianz der Steigerung der Hilfsbereitschaft gehört und einen positiven Regressionskoeffizienten aufweist. Die Reduktion der Angst vor Fehlern sowie der Angst vor Ansteckung durch eine telemedizinische Unterstützung bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen wird mit dem Regressionsmodell ebenso bestätigt. Mit steigender Angst der Laien, bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen Fehler zu begehen, fällt auch die Steigerung der Hilfsbereitschaft bei Verfügbarkeit eines Telemedizin systems größer aus. Neben den Einflussfaktoren, die bereits als Determinanten der Hilfsbereitschaft ohne Telemedizin system identifiziert wurden, ist für eine positive Wirkung des Systems die Affinität der potentiellen Helfer zu elektronischen Geräten von Bedeutung. Damit dieser Faktor bei Personen, die Schwierigkeiten im Umgang mit der Technik haben, keine hemmende Wirkung auf die Hilfsbereitschaft hat, wird die Gestaltung der Nutzerschnittstellen bei der Entwicklung des Systems eine besondere Rolle spielen.

Die Ergebnisse der Voruntersuchung zeigen, dass die Verfügbarkeit eines Telemedizin systems die Wirkung der hemmenden Determinanten der Hilfsbereitschaft verringern und damit die Bereitschaft von Laien zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen steigern kann. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist allerdings zu beachten, dass die durchgeführte Untersuchung nur auf der Selbsteinschätzung des eigenen Verhaltens der Befragungsteilnehmer in den dargestellten Szenarien basiert. Alternativ zu einer Befragung könnten Simulationsstudien durchgeführt werden, die jedoch einen erheblich größeren Aufwand verursachen. Eine Untersuchung des Hilfeverhaltens in realen Notfallsituationen ist aufgrund der Eigenschaften von Notfällen nahezu unmöglich.

## 2 Zielsetzungen

Im Rahmen dieser Arbeit werden ausgewählte Fragestellungen für die Entwicklung eines Telemedizinsystems für die präklinische Notfallversorgung nach Straßenverkehrsunfällen untersucht. Das Telemedizinsystem soll in der Post-Crash-Phase durch den Einsatz von telematischen und telemedizinischen Technologien die Überlebenschancen und die Rehabilitationsprognose von verunglückten Verkehrsteilnehmern verbessern. Dies ist zu erreichen über:

- die Verkürzung der Zeitspanne vom Unfall bis zum Eingang der Unfallmeldung in der Rettungsleitstelle (Latenzzeit) sowie die Verkürzung der Gesprächs- und Dispositionszeit,
- die Verbesserung des Meldebildes in der Rettungsleitstelle und damit die Verbesserung der Dispositionsqualität hinsichtlich der primär disponierten Rettungsmittel,
- die Erhöhung der Bereitschaft von anwesenden Personen zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen und
- die Steigerung der Qualität der Erste-Hilfe-Maßnahmen von Laien.

Aufbauend auf den untersuchten Fragestellungen werden die Anforderungen an das Telemedizinsystem festgelegt und ein Lösungsansatz für die Architektur und für den Kommunikationsablauf dargestellt.<sup>33</sup>

### 2.1 Vorgaben zu Systemfunktionen und zur Systemarchitektur

Für einen deutschlandweiten und langfristig europaweiten Einsatz des Telemedizinsystems müssten bei der Entwicklung eines Lösungsansatzes für die Systemarchitektur die regional unterschiedlichen Organisationsstrukturen und technischen Infrastrukturen des Rettungsdienstes berücksichtigt werden. Da diese Strukturen bereits innerhalb Deutschlands variieren, werden für den Lösungsansatz die Empfehlungen des eMERGE-Projektes zur Harmonisierung der technischen und operativen Voraussetzungen für eine europaweite Einführung von automatischen Notrufsystemen (vgl. Kap. 1.2.1.3) zugrunde gelegt. Das Ergebnis des eMERGE-Projektes der Europäischen Union gibt eine Rahmenarchitektur für den Kommunikationsablauf sowie einheitliche Schnitt-

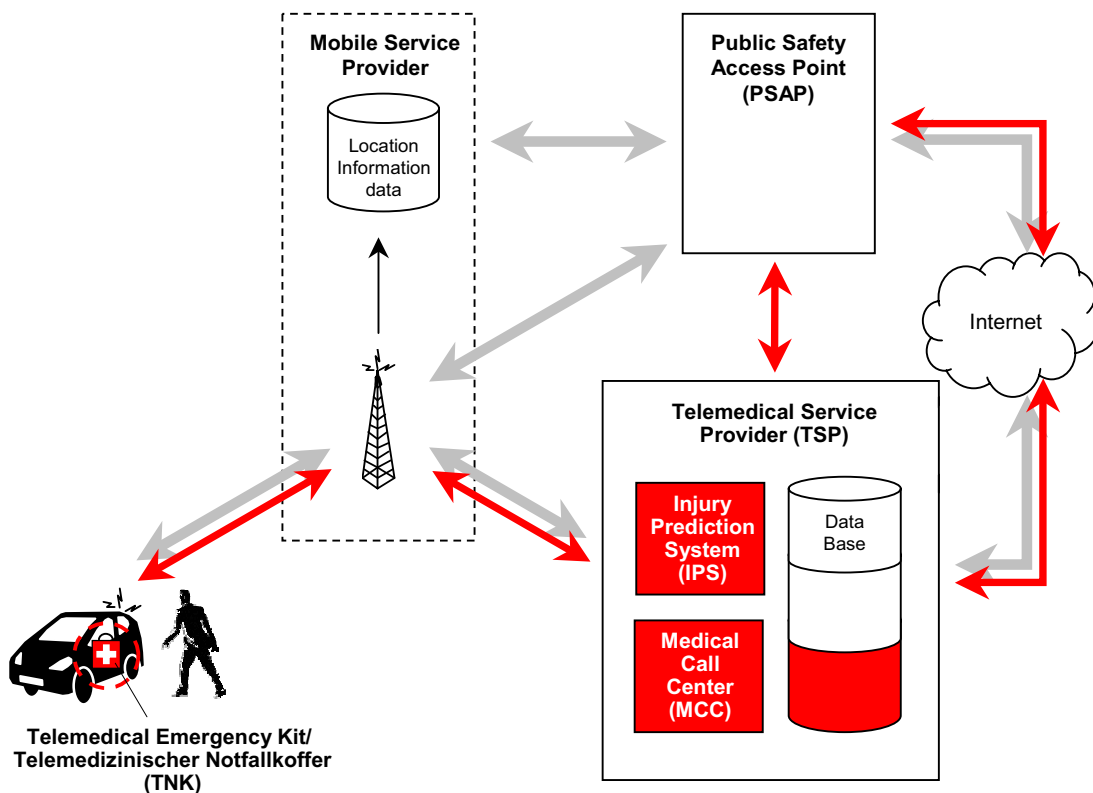
---

<sup>33</sup> Es ist nicht das Ziel der Arbeit, für das Gesamtsystem oder für einzelne Elemente eine technische Spezifikation zu entwickeln.

stellen zwischen den Partnern in der Rettungskette vor, die zukünftig von den EU-Mitgliedsstaaten umgesetzt werden sollen.

Das Telemedizinsystem soll einerseits die Funktionen eines automatischen Notrufsystems zur Verkürzung der Meldezeit in Anlehnung an die Spezifikationen von eMERGE unterstützen. Andererseits soll es die telematische Prognose der Verletzungsintensität der Fahrzeuginsassen und die telemedizinische Unterstützung von Laien bei Erste-Hilfe-Maßnahmen ermöglichen.

In Abbildung 7 ist das Telemedizinsystem mit den vorgesehenen Elementen und wesentlichen Kommunikationsflüssen skizziert. Die zusätzlichen Elemente und Kommunikationsflüsse sind gegenüber der eMERGE-Architektur rot hervorgehoben.



**Abb. 7.** Architektur und Kommunikationsflüsse des Telemedizinsystems auf der Grundlage der eMERGE-Rahmenarchitektur

Die Meldezeit wird durch die Funktionen eines automatischen Notrufsystems auf ein Minimum verkürzt. Zur weiteren Verkürzung der Gesprächszeit<sup>34</sup> und der Dispositionszeit in der Rettungsleitstelle sowie zur Verbesserung des Meldebildes und der sich daraus ergebenden Dispositionsentscheidung soll vom System eine automatische Auswertung von Daten der Fahrzeugsensorik durchgeführt werden. Dazu müssen aus-



gewählte Daten an einen Telemedical Service Provider (TSP)<sup>35</sup> übertragen werden, der mit dem Injury Prediction System (IPS) die Verletzungsintensität für jeden Fahrzeuginsassen bestimmt. Auf der Grundlage der vorhergesagten Verletzungsintensität wird vom Telemedical Service Provider eine Empfehlung über die Art des zu entsendenden Rettungsmittels für jeden Fahrzeuginsassen abgeleitet und der Rettungsleitstelle (PSAP) zur Verfügung gestellt.

Eine Verkürzung der Zeitspanne zwischen dem Unfallereignis und dem Beginn von ersten suffizienten Hilfeleistungen kann durch Erste-Hilfe-Maßnahmen von zufällig anwesenden Laien vor dem Eintreffen des professionellen Rettungsdienstes erreicht werden. Zur Motivation der Laien für die Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen und zur Sicherstellung einer ausreichenden Qualität der Maßnahmen soll in den Fahrzeugen ein telemedizinischer Notfallkoffer (TNK) mitgeführt werden, der auch die Funktionen des In Vehicle Systems (IVS) der eMERGE-Rahmenarchitektur übernimmt. Zufällig am Unfallort anwesende Laien erhalten mit dem telemedizinischen Notfallkoffer über eine Kommunikationsverbindung mit einem medizinischen Call Center eine professionelle Anleitung bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen. Nichtinvasive biomedizinische Sensoren, als Bestandteil des TNK, ermöglichen die Fernüberwachung des Vitalstatus der verletzten Personen und unterstützen die Ferndiagnose des Patientenzustandes zur Einleitung der erforderlichen Maßnahmen. Die im Call Center von der Unfallstelle gewonnenen Informationen können für die Nachdisposition der Rettungsmittel und die weitere medizinische Versorgung eingesetzt werden.

## 2.2 Fragestellungen

Für die Entwicklung des dargestellten Telemedizinsystems werden im Rahmen dieser Arbeit Fragestellungen zur telematischen Prognose der Verletzungsintensität, zur Ableitung einer Dispositionsempfehlung und zur telemedizinischen Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen untersucht. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse können die Anforderungen an das System identifiziert und die erzielbaren Effekte zur Verbesserung der präklinischen Notfallversorgung abgeschätzt werden.

---

<sup>34</sup> Auch bei einer automatischen Unfallmeldung ist gemäß eMERGE ein Gespräch mit den Fahrzeuginsassen vorgesehen, um Informationen über die Anzahl, die Art der Verletzungen und die vitale Gefährdung der Unfallopfer als Dispositionsgrundlage zu erhalten.

<sup>35</sup> Der Telemedical Service Provider übernimmt auch die Funktionen des Service Providers (SP) der eMERGE-Rahmenarchitektur.

### **2.2.1 Telematische Prognose der Verletzungsintensität und Ableitung einer Dispositionsempfehlung**

Für die Untersuchung des Ansatzes der telematischen Prognose der Verletzungsintensität werden insbesondere folgende Fragestellungen betrachtet:

- Welche Verfahren können zur Prognose der Verletzungsintensität eingesetzt werden und wie unterscheiden sich die Verfahren hinsichtlich der Prognosegüte?
- Welche Prognosegüte ist erzielbar, wenn ausschließlich automatisch erfassbare Informationen als Eingangsgrößen für Prognoseverfahren genutzt werden?
- Wie kann mit Hilfe der Prognoseverfahren eine adäquate Dispositionsempfehlung erstellt werden?

Die Ergebnisse der Fragestellungen bilden die Grundlage für die Definition der Anforderungen an das Injury Prediction System (IPS).

### **2.2.2 Telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen**

Als Grundlage für die Gestaltung der telemedizinischen Unterstützung von Laien werden folgende Fragestellungen untersucht:

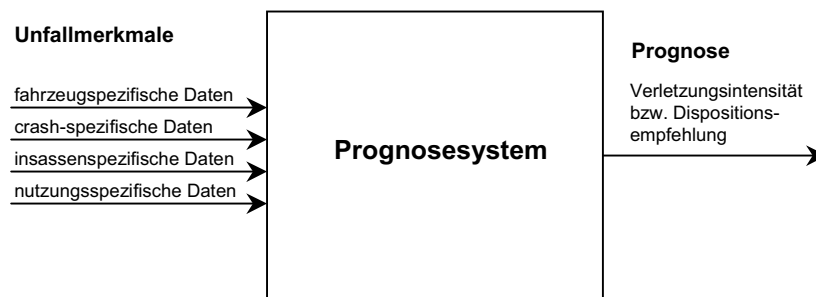
- Welche Erste-Hilfe-Maßnahmen sind nach Straßenverkehrsunfällen am häufigsten indiziert?
- Wie ausgeprägt ist die Bereitschaft von Laien zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen und inwieweit weichen die tatsächlich durchgeführten von den indizierten Maßnahmen ab?
- Welche Funktionen soll ein Telemedizinsystem aufweisen, um Laien bei der Durchführung der am häufigsten indizierten Maßnahmen zu unterstützen?
- Welchen Einfluss hat die Laienhilfe auf die Überlebenschance der Unfallopfer?

Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Fragestellungen können die Anforderungen an das Telemedizinsystem bezüglich der Unterstützung von Laien definiert werden.

## 3 Methodik

### 3.1 Entwicklung von Modellen zur telematischen Prognose der Verletzungsintensität

Das zu entwickelnde System zur Prognose der Verletzungsintensität von Fahrzeuginsassen und zur Erstellung einer Dispositionsempfehlung kann vereinfacht aus der systemtechnischen Perspektive gemäß Abbildung 8 als ein System mit Eingangs- und Ausgangsgrößen dargestellt werden.



**Abb. 8.** *Prognosesystem mit Eingangs- und Ausgangsgrößen*

Als Grundlage für die Vorhersage der Verletzungsintensität eines Insassen, müssen in das System Informationen über das Unfallgeschehen und über die Rahmenbedingungen des Unfalls (Unfallmerkmale) eingehen. Diese Eingangsgrößen lassen sich in

- fahrzeugspezifische Daten (z. B. Fahrzeugtyp, Sicherheitsausstattung, Gewichtsklasse),
- crash-spezifische Daten (z. B. Ausgangsgeschwindigkeit, Verzögerungsverlauf, Airbagauslösung),
- insassenspezifische Daten (z. B. Geschlecht, Größe, Alter) und
- nutzungsspezifische Daten (z. B. Sitzposition, Nutzung von Rückhaltesystemen)

unterteilen. Im Rahmen der Arbeit wird u. a. untersucht, welche der möglichen Eingangsgrößen für die Prognose der Verletzungsintensität genutzt werden sollen. Als Ausgangsgröße soll das System ein Maß für die Verletzungsintensität des betrachteten Fahrzeuginsassen und eine Dispositionsempfehlung liefern, die in der Rettungsleitstelle als Grundlage für die Dispositionsentscheidung genutzt werden kann.<sup>36</sup> Dabei ist insbe-

<sup>36</sup> Der genutzte Score für die Bewertung von Verletzungen wird in Kapitel 3.1.1.3 näher erläutert.

sondere von Interesse, ob keine bzw. nur eine leichte oder ob eine schwere Verletzung des Fahrzeuginsassen vorliegt, um über die Indikation eines Notarzteinsatzes zu entscheiden. Wird keine oder nur eine leichte Verletzung des Fahrzeuginsassen vermutet, ist der Einsatz eines nicht notarztbesetzten Rettungsmittels ausreichend.<sup>37</sup> Da es sich bei der Entscheidung über einen Notarzteinsatz um eine binäre Entscheidung handelt, ist es ausreichend, wenn die Ausgangsgröße des Prognosesystems nominal (binär) skaliert ist und eine Klassifikation des Insassen in eine der beiden Gruppen *un-* bzw. *leichtverletzt* und *schwerverletzt* ermöglicht.

Die Eingangsgrößen werden im Folgenden auch als unabhängige Variablen oder Merkmale, die Ausgangsgröße als abhängige Variable oder vorherzusagende Klasse und jeder einzelne Insasse, für den eine Prognose erstellt werden soll, als Fall oder Instanz bezeichnet.

Die Vorhersage der Verletzungsintensität erfolgt innerhalb des Prognosesystems durch ein Prognosemodell, dem aufbereitete Eingangsgrößen zur Verfügung gestellt werden. Das Prognosemodell kann auf zwei grundsätzlich unterschiedlichen Ansätzen basieren:

(1) Bei der Nutzung von Verfahren, die auf inferenzstatistischen Methoden bzw. Methoden des maschinellen Lernens (Data Mining) beruhen, wird von einer Stichprobe von Fällen ausgegangen, für die sowohl die Unfallmerkmale als auch die Klassenzugehörigkeit (*un-* bzw. *leichtverletzt* bzw. *schwerverletzt*) bekannt sind. Auf der Grundlage dieser Lernstichprobe werden die Parameter der statistischen Modelle geschätzt bzw. Lernverfahren trainiert, so dass für neue Fälle eine Vorhersage über die Klassenzugehörigkeit getroffen werden kann (fallbasiertes Schließen). Die Anpassung bzw. das Training der Modelle wird als Modellspezifikation bezeichnet. Statistische Tests ermöglichen bei diesen Verfahren eine Aussage über die Vertrauenswürdigkeit der Prognoseergebnisse, sofern die Verteilung der Fälle in der Stichprobe die Verteilung in der Grundgesamtheit repräsentiert. Als Grundgesamtheit werden alle Fälle verstanden, für die im Praxiseinsatz eine Prognose erstellt werden soll.

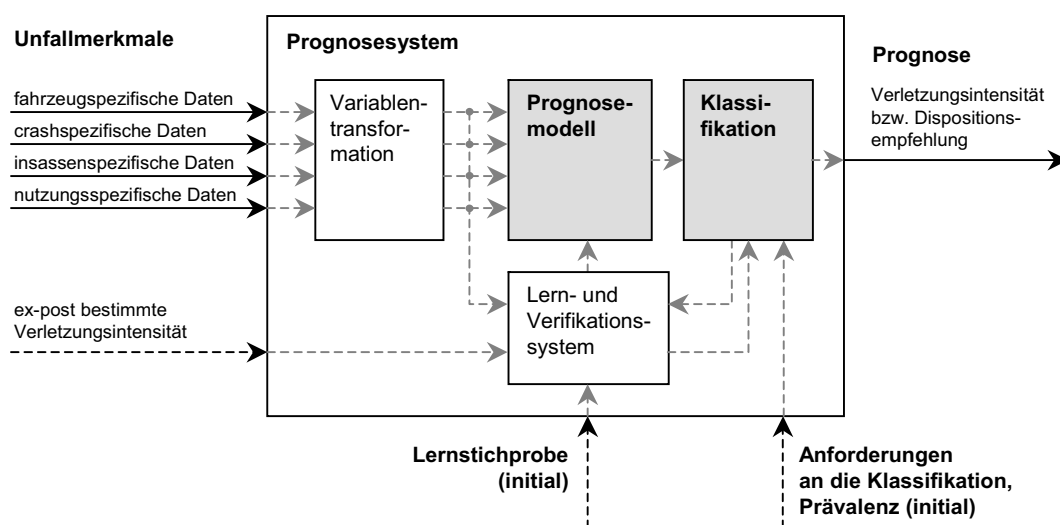
(2) Im Gegensatz dazu stehen Verfahren, die auf einer Rekonstruktion des Unfallgeschehens beruhen. Auf der Grundlage von Ersatzmodellen für das Fahrzeug und den Insassen können in Simulationen Belastungskenngrößen für einzelne Körperteile des

---

<sup>37</sup> Inwieweit überhaupt ein Rettungsmittel nach einer automatischen Unfallmeldung erforderlich ist, hängt von der Auslöseschwelle für die Unfallmeldung ab. Da diese bei den derzeit verfügbaren Systemen immer mit dem Auslösen eines Airbags verknüpft ist, wird hier davon ausgegangen, dass als minimale Disposition der Einsatz eines Rettungsmittels ohne Notarzt erforderlich ist.

Insassen berechnet und empirisch ermittelten Verletzungsschwellwerten gegenübergestellt werden [Issing2005A, Stellmacher1997]. Auf diese Weise kann für einen neuen Fall eine Prognose der Verletzungsintensität erstellt werden. Derartige Verfahren werden aktuell entwickelt, benötigen aber aufgrund des hohen Simulationsaufwandes hohe Rechenkapazitäten, so dass bei den aktuell verfügbaren Rechenleistungen die Prognose zu spät für eine Unterstützung der primären Dispositionsentscheidung vorliegen würde. Die detaillierten Ergebnisse von Simulationen können insbesondere in der klinischen Versorgung für die Diagnose von inneren Verletzungen eingesetzt werden. Es wurde noch nicht untersucht, wie robust diese Verfahren auf unvollständige oder ungenaue Eingangsgrößen (z. B. wenn sich der Insasse in einer anderen Sitzposition befindet) reagieren und wie zuverlässig damit die Ergebnisse sind. Eine Kombination von Simulationsmodellen mit statistischen Verfahren ist denkbar.

In dieser Arbeit werden für die Entwicklung der Prognosemodelle Verfahren eingesetzt, die auf dem ersten Ansatz beruhen (inferenzstatistische Verfahren). In Abbildung 9 ist schematisch ein Lösungsansatz für den Aufbau des Prognosesystems dargestellt.



**Abb. 9.** Schematische Darstellung der Elemente des Prognosesystems

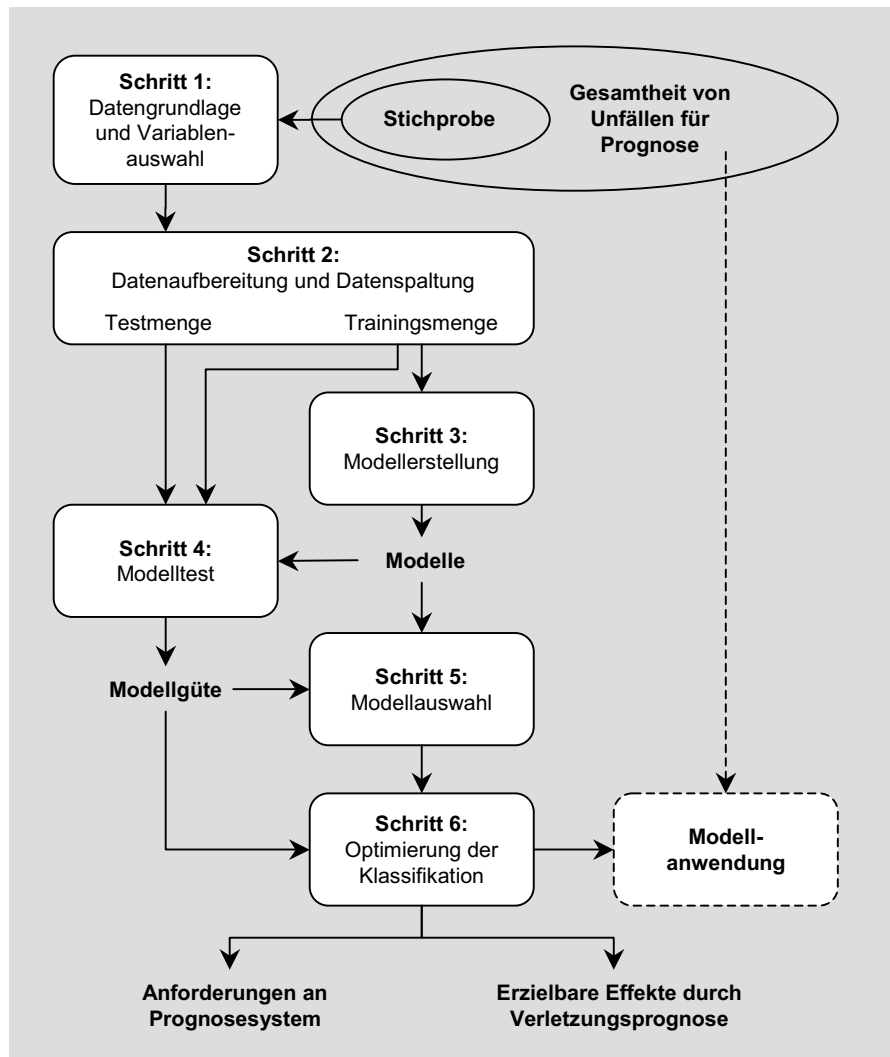
Die Spezifikation des Prognosemodells erfolgt über ein Lern- und Verifikationssystem, das initial eine Lernstichprobe von Fällen mit bekannten Unfallmerkmalen und Klassenzugehörigkeiten enthält. Als Lernstichprobe werden repräsentative Unfalldatenbanken genutzt. In den Unfalldatenbanken liegen ex post erhobene bzw. rekonstruierte Daten als Unfallmerkmale vor. Da diese Merkmale in ihrer genauen Definition nicht den Daten entsprechen, die in der realen Anwendung des Systems durch die Fahrzeugsensorik gemessen werden, ist im Prognosesystem zunächst eine Transformation der Daten der Fahrzeugsensorik gemäß den Merkmalsdefinitionen der Unfalldatenbanken

ken erforderlich (Variablentransformation). Sobald das Prognosesystem im Praxiseinsatz ist, können im Lern- und Verifikationssystem neue Lernstichproben gesammelt werden. Dazu muss für jeden Fall ex post die tatsächliche Verletzungsintensität (Klassenzugehörigkeit) durch den Rettungsdienst bestimmt, dem Prognosesystem zur Verfügung gestellt und in einer Datenbank gemeinsam mit den Unfallmerkmalen des Falls abgelegt werden. Mit den neuen Lernstichproben können rollierend die Prognosemodelle neu spezifiziert werden, so dass sie kontinuierlich an das aktuelle Unfallgeschehen angepasst werden können. Mit wachsenden Lernstichproben wird eine immer höhere Prognosegüte erreicht werden können. Sobald neue Lernstichproben mit den von der Fahrzeugsensorik tatsächlich gemessenen Daten vorliegen, kann auch die Variablentransformation so angepasst werden, dass diese Daten (z.B. Fahrzeugverzögerung) direkt als Eingangsgrößen für die Prognosemodelle nutzbar sind.

Bei der Anwendung von Prognosemodellen auf der Basis von inferenzstatistischen Verfahren liefern die Modelle als Ausgangsgrößen die Wahrscheinlichkeit für eine schwere Verletzung des betrachteten Fahrzeuginsassen. Auch bei Prognosemodellen auf der Basis von Verfahren des maschinellen Lernens können durch unterschiedliche Vorgaben für Fehlklassifikationskosten unterschiedliche Klasseneinteilungen für einen Fall vorliegen. Zur Erstellung einer Dispositionsempfehlung ist aber eine eindeutige Klassifikation des Insassen in eine der beiden Gruppen *un-* bzw. *leichtverletzt* oder *schwerverletzt* erforderlich. Die eindeutige Klassifikation erfolgt durch die Wahl eines Arbeitspunktes des Prognosemodells im Klassifikationssystem. Dazu müssen dem System Anforderungen an die Eigenschaften der Klassifikationsergebnisse sowie Informationen über die Prävalenz der Verletzungsintensität von Insassen (Verhältnis zwischen schwerverletzten und un- bzw. leichtverletzten Insassen) in der Grundgesamtheit vorgegeben werden.<sup>38</sup> Mit diesen Vorgaben kann ein optimaler Arbeitspunkt des Modells für eine gegebene Problemstellung bestimmt werden. Nur im Idealfall wird ein Modell in der Lage sein, immer genau die richtige Prognose zu erstellen und damit eine 100-prozentige Trefferquote zu erreichen. Die Gesamttrefferquote lässt sich nach Sensitivität (Anteil der korrekt klassifizierten schwerverletzten Insassen) und Spezifität (Anteil der korrekt klassifizierten un- bzw. leichtverletzten Insassen) unterscheiden, wobei beide Größen für die Bewertung als Paar betrachtet werden müssen (vgl. Kapitel 3.1.4). Je nach Wahl der Modellparameter und damit des Arbeitspunktes können unterschiedliche Wertepaare für die Sensitivität und die Spezifität der Prognose erzielt werden. Als Anforderungen an die Klassifikationsergebnisse können beispielsweise Vorgaben zur Mindestsensitivität/-spezifität oder zu Kosten für Fehlklassifikationen festgelegt werden.

---

<sup>38</sup> Die Vorgabe der Prävalenz ist nur initial erforderlich, da sie bei dem realen Einsatz des Systems im Lern- und Verifikationssystem aus den neu gesammelten Lernstichproben ermittelt werden kann.



**Abb. 10.** Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Entwicklung eines Prognosemodells

Die Abbildung 10 stellt die im Rahmen dieser Arbeit genutzte Vorgehensweise zur Entwicklung eines Prognosemodells dar. Im ersten Schritt (vgl. Kapitel 3.1.1) wird zunächst die Datengrundlage charakterisiert. Sie dient als Stichprobe für die Spezifikation der Modelle und für die anschließende Beurteilung der Prognosegüte. Danach werden die als Eingangsgrößen für die Spezifikation genutzten Variablen ausgewählt. Um alternative Spezifikationen von Prognosemodellen für unterschiedliche Gruppen von Eingangsgrößen entwickeln zu können, erfolgt eine Bewertung der ausgewählten Variablen nach ihrer Erfassbarkeit über die Fahrzeugsensorik. Im zweiten Schritt (vgl. Kapitel 3.1.2) werden die Daten so aufbereitet, dass sie als Eingangsgrößen für die eingesetzten Verfahren zur Erstellung der Modelle genutzt werden können. Die Daten werden schließlich in eine Trainings- und eine Testmenge aufgespalten.

Im dritten Schritt werden alternative Prognosemodelle mit unterschiedlichen Verfahren sowie unterschiedlichen Eingangsgrößen spezifiziert. In Kapitel 3.1.3 werden die eingesetzten Verfahren aus dem Bereich der klassischen multivariaten Statistik und aus dem Bereich des maschinellen Lernens erläutert und die Vorgehensweise für die Vorwertung der Daten und die Spezifikation der Modelle beschrieben.

Die Bewertung der Prognosegüte und ein Vergleich der Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Modelle erfolgen in Schritt 4 und 5 an der Trainings- und der Testmenge. Die Verfahren zur Messung der Prognosegüte und die dafür erforderlichen Grundlagen werden in Kapitel 3.1.4 dargestellt.

Im letzten Schritt (vgl. Kapitel 3.1.5) werden Ansätze zur Optimierung der Klassifikation für eine Dispositionsempfehlung betrachtet und die Vorgehensweise zur Bestimmung eines optimalen Arbeitspunktes beschrieben.

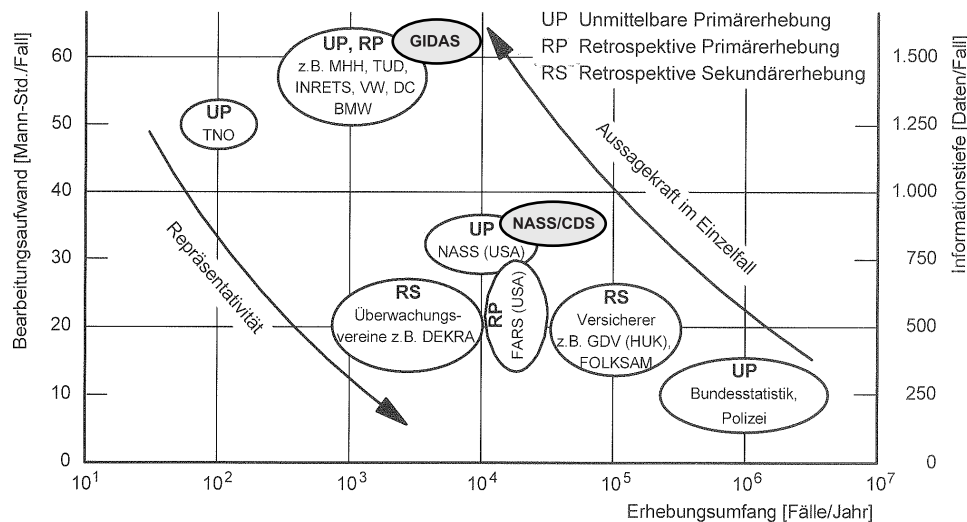
Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt keine endgültige Auswahl eines Modells für den Praxiseinsatz. Durch die Entwicklung verschiedener Modelle mit unterschiedlichen Verfahren und Eingangsgrößen soll vielmehr dargestellt werden, welche Eingangsgrößen für die Prognose der Verletzungsintensität von besonderer Bedeutung sind, welche Leistungsfähigkeit erreichbar ist und wo die Vor- und Nachteile der Verfahren liegen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen können Anforderungen an Prognosemodelle und an die erforderliche Fahrzeugsensorik definiert werden. Die ermittelte Prognosegüte gibt einen Anhaltspunkt für die Abschätzung des erzielbaren Effekts. Auf dieser Grundlage kann die Bedeutung der telematischen Prognose der Verletzungsintensität zur Optimierung der Prozesse des Rettungswesens diskutiert werden.

### **3.1.1 Datengrundlage und Variablenauswahl**

Die Voraussetzung für die Entwicklung eines leistungsfähigen Prognosesystems auf der Basis inferenzstatistischer Methoden ist die Verfügbarkeit einer Stichprobe, die die untersuchungsrelevanten Eigenschaften der Grundgesamtheit möglichst genau abbildet. Je besser die Stichprobe die Grundgesamtheit repräsentiert, um so präziser können auch inferenzstatistische Aussagen über die Grundgesamtheit sein. Prognosemodelle können dementsprechend nur für die Grundgesamtheit genaue Ergebnisse liefern, die durch die Stichprobe repräsentiert wird, an der die Verfahren spezifiziert wurden [Bortz1993]. Bezogen auf die vorliegende Problemstellung bedeutet dies, dass für die Spezifikation eines Prognosemodells Daten von Verkehrsunfällen erforderlich sind, die in den untersuchungsrelevanten Merkmalen für alle Unfälle repräsentativ sind, für die in Zukunft eine Prognose erstellt werden soll. Da im Rahmen dieser Arbeit nur retrospektive Daten genutzt werden können, können die Modelle nur für die Vorhersage der Verletzungsin-



tensität von Fahrzeuginsassen, für die die zugrundeliegenden Daten repräsentativ sind, eingesetzt werden. In Abbildung 11 sind Unfalldatenbanken unterschiedlicher unfall-erhebender Institutionen nach den Kriterien Aussagefähigkeit und Repräsentativität gegenübergestellt.



**Abb. 11.** Unfalldatenbanken in Abhängigkeit von Erhebungsumfang und Informationstiefe; Repräsentativität und Aussagekraft stehen im Zielkonflikt [Appel2002]

Für die Spezifikation der Prognosemodelle werden die amerikanische Datenbank (NASS/CDS) der National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) und die deutsche Datenbank (German In-Depth Accident Study, GIDAS) der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) und der Technischen Universität Dresden (TUD) eingesetzt<sup>39</sup>, die einen ausreichenden Detaillierungsgrad aufweisen und gleichzeitig eine Repräsentativität für die Länder USA und Deutschland anstreben. Der Vergleich der Ergebnisse auf der Grundlage beider Datenbanken soll eine Aussage über den Einfluss regionaler Unterschiede ermöglichen.

### 3.1.1.1 NASS/CDS-Datenbank

In USA wurde im Jahr 1979 unter der Leitung der NHTSA das In-Depth-Untersuchungsprogramm NASS begonnen. Dabei wurden mehrere Unfalldatenbanken mit unterschiedlichen Schwerpunkten aufgebaut. Im Crashworthiness Data System (CDS) werden von 24 über ganz USA verteilten Untersuchungsteams (Primary Sampling

<sup>39</sup> Für diese Arbeit wurden ausgewählte Daten der GIDAS-Datenbank durch TAKATA-PETRI AG zur Verfügung gestellt.

Units, PSU) Verkehrsunfälle aufgenommen und ausgewertet. Die Auswahl der Unfälle, die von den regionalen Teams untersucht werden, erfolgt nach einem festgelegten Aufnahmeplan. Jeder PKW-Unfall, der von der Polizei erfasst wird und bei dem mindestens ein Fahrzeug so stark beschädigt wurde, dass es abgeschleppt werden musste, oder bei dem mindestens eine Person eine Verletzung erlitten hat, wird nach den Merkmalen Fahrzeugtyp, Baujahr, Abschleppstatus, Verletzungsstärke und Krankenhauseinlieferung der Insassen in eine Kategorie (Stratum) eingeteilt. Für jede Kategorie ist im Aufnahmeplan die Häufigkeit, mit der ein Unfall einer Kategorie von dem regionalen PSU in die Untersuchung aufgenommen werden soll, festgelegt. Unfälle mit schweren Verletzungen der Insassen und Unfälle mit Fahrzeugen jüngerer Baujahre werden gemäß dem Aufnahmeplan häufiger ausgewählt. Für jeden untersuchten Unfall wird ein Faktor berechnet, der dem reziproken Wert der Wahrscheinlichkeit entspricht, mit der ein Unfall vom vorliegenden Typ in die In-Depth-Untersuchung aufgenommen wird. Werden die Unfälle der NASS/CDS-Datenbank mit diesen Faktoren gewichtet, kann von einer Repräsentativität der Erhebung für das gesamte Unfallgeschehen in USA ausgegangen werden.

Pro Jahr werden rund 5.000 Unfälle untersucht, wobei pro Unfall ca. 400 Daten aufgenommen werden. Die Daten beschreiben die Örtlichkeit des Unfalls, das Unfallgeschehen, die beteiligten Fahrzeuge, die Fahrzeuginsassen und deren Verletzungen sowie die Nutzung und Aktivierung von Sicherheitssystemen [NCSA2002].

### **3.1.1.2 GIDAS-Datenbank**

In Deutschland wurde im Jahr 1999 von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) ein Gemeinschaftsvorhaben zur „Unfallerhebung am Unfallort“ (German In-Depth Accident Study, GIDAS) ins Leben gerufen. Die Erhebung der Unfälle wird von zwei Teams der Medizinischen Hochschule Hannover und der Technischen Universität Dresden jeweils im Großraum Hannover und im Großraum Dresden durchgeführt. In die Untersuchung werden ausschließlich Verkehrsunfälle mit Personenschaden einbezogen, die nach einem Zufallsverfahren in den Erhebungsgebieten ausgewählt werden. Hierzu werden den Erhebungsteams von den Einsatzzentralen der Polizei, der Rettungsdienste und der Feuerwehr fortlaufend alle Verkehrsunfälle mit Personenschaden gemeldet, aus denen die Teams in festgelegten Zeitfenstern die Unfälle zufällig auswählen, die noch am Unfallort von Ingenieuren und Medizinern detailliert ausgewertet und untersucht werden. Durch das Auswahlverfahren wird innerhalb der Erhebungsgebiete bereits eine hohe Repräsentativität der untersuchten Stichprobe erzielt. Um eine Repräsentativität der Stichprobe für Deutschland zu erreichen, sind für einige Merkmale Gewichtungsfaktoren erforderlich, die in einem Vergleich mit der amtlich erfassten Unfallstatistik

bestimmt wurden [Otte2004A]. Die Stichprobe kann für die Unfallmerkmale, die relativ unabhängig von regionalen Einflüssen sind, als repräsentativ für Deutschland aufgefasst werden. Da Kollisionsabläufe i.d.R. von technischen Rahmenbedingungen abhängen und Verletzungsfolgen von diesen geprägt werden, kann für die meisten Merkmale von einer Repräsentativität ausgegangen werden.

In den Erhebungsgebieten werden insgesamt ca. 2.000 Unfälle pro Jahr erfasst. Pro Unfall werden 500 bis 3.000 Daten u. a. in den Bereichen Umweltbedingungen, Fahrzeuge, Insassen, Verletzungen, Kollisionsverlauf und präklinische sowie klinische Versorgung der Unfallopfer erhoben. Zur Bestimmung von Crash-Informationen und Crash-Kennwerten werden simulative Unfallrekonstruktionen durchgeführt.

Die GIDAS-Datenbank ist bezüglich der Informationstiefe insbesondere in den Bereichen der Insassenverletzungen und der präklinischen sowie klinischen Versorgung wesentlich umfangreicher als die NASS/CDS-Datenbank. Der hohe Detaillierungsgrad führt allerdings zwangsläufig dazu, dass für viele Fälle nur ein Teil der Daten erhoben werden kann, so dass in Teilbereichen der Datenbank viele Werte fehlen. Für die Auswertung der Datenbank müssen daher Strategien für den Umgang mit diesen Werten festgelegt werden (vgl. Kapitel 3.1.2).

### 3.1.1.3 Variablenauswahl

Als Ausgangsgröße soll das Prognosemodell eine Information über die Verletzungsintensität liefern, aus der eine Entscheidung über die erforderlichen Rettungsmittel abgeleitet werden kann. Wie bereits in Kapitel 3.1 dargestellt wurde, ist es insbesondere von Interesse, ob ein Insasse bei einem Verkehrsunfall keine bzw. nur leichte oder ob er schwere Verletzungen erlitten hat. Damit kann in der Rettungsleitstelle die Entscheidung getroffen werden, ob die Indikation für einen Notarzteinsatz vorliegt oder nicht. Als Maß für Verletzungsintensität bei Verkehrsunfällen hat sich die Abbreviated Injury Scale (AIS) international durchgesetzt. Eine Verletzung wird zur Bewertung nach AIS auf einer Skala von 0 bis 6 klassifiziert, wobei die von der Verletzung ausgehende Lebensbedrohung das wichtigste Beurteilungskriterium für die Klassifikation darstellt (0: unverletzt, 6: tödlich verletzt) [Appel2002]. Die Klassifikation der Verletzungen erfolgt nach einem Codebook, in dem für jede stumpfe oder penetrierende Verletzung, nach acht Körperregionen untergliedert, ein 7-stelliger Code (AIS-Code) festgelegt ist [AAAM1998].<sup>40</sup> Über den AIS-Code kann für jede Verletzung der AIS-Schweregrad bestimmt werden. Eine beispielhafte Zuordnung von AIS-Werten zu Einzelverletzungen

---

<sup>40</sup> Gemäß AIS werden acht Körperregionen unterschieden: Kopf (Region 1), Gesicht (Region 2), Hals (Region 3), Thorax (Region 4), Abdomen (Region 5), Wirbelsäule (Region 6), obere Extremitäten (Region 7) und untere Extremitäten (Region 8).

zeigt Tabelle 7. Der AIS-Wert ist ein anatomisch orientierter Score, der klinisch oder auch postmortal erfasst werden kann und nicht vom zeitlichen Verlauf des physiologischen Zustandes der verletzten Person und damit auch nicht durch präklinische oder klinische Interventionen beeinflusst wird [Kanz2002].

Häufig liegen bei Verkehrsunfällen multiple Verletzungen vor. Zur Beschreibung des Verletzungsschweregrades einer Körperregion wird der maximale AIS-Wert pro Körperregion genutzt. Für die Bewertung der Verletzungsschwere für den gesamten Körper bestehen unterschiedliche Ansätze. Die Verletzungsintensität einer Person wird in dieser Untersuchung über den maximalen AIS-Wert (MAIS) charakterisiert. Personen, die einen MAIS-Wert von 0 bis 2 aufweisen, werden als *un-* bzw. *leichtverletzt* und Personen, die einen MAIS-Wert von 3 bis 6 (MAIS 3 plus) aufweisen als *schwerverletzt* klassifiziert. Der MAIS-Wert wird in der NASS/CDS- sowie in der GIDAS-Datenbank erfasst.

**Tabelle 7.** Verletzungsschweregrad nach AIS, Beispiele und Letalitätsraten [Kramer1998]

AIS	Schweregrad	Verletzungen (Beispiele)	Letalitätsrate [%]
0	unverletzt		0,00
1	gering	Schürfung, Schnittwunden, Prellungen	0,00
2	mäßig	großflächige Schürfungen und Prellungen, leichte Gehirnerschütterung	0,07
3	ernst, nicht lebensbedrohlich	Schädelfraktur ohne Liquoraustritt, Gehirnerschütterung mit Bewusstlosigkeit, Pneumothorax	2,91
4	schwer, lebensbedrohlich	Schädelfraktur mit Liquoraustritt, Gehirnerschütterung mit Bewusstlosigkeit bis 24h, Perforation des Brustkorbes	6,88
5	kritisch, Überleben fraglich	Schädelfraktur mit Hirnstammb Blutung, Organriss oder -abriss	32,32
6	tödlich, derzeit nicht behandelbar	massive Kopfquetschung, Aortaruptur	100,00

Auf der Grundlage der Literaturanalyse (vgl. Kapitel 1.2.1.3) sowie eigener Plausibilitätsüberlegungen wurden die in Tabelle 8 dargestellten Variablen ausgewählt, die als Eingangsgrößen (unabhängige Variablen) für die Spezifikation der Prognosemodelle betrachtet werden sollen. Im Unterschied zu den in der Literatur beschriebenen Untersuchungen [Bahouth2004] wurden nur Variablen berücksichtigt, die entweder mit Sensorik im Fahrzeug prinzipiell automatisch messbar sind oder durch eine Insassenidentifikation ermittelt werden können.<sup>41</sup> Nicht betrachtet wurden Variablen,

<sup>41</sup> Die Identifikation von Insassen kann beispielsweise durch einen Fingerabdrucksensor beim Starten des Fahrzeuges erfolgen. Die Insassen müssen die Angaben zu den Merkmalen bei der ersten Fahrzeugnutzung abgeben.

die nur von einer Person am Unfallort oder durch die Übertragung von Bildern von der Unfallstelle erhoben werden können (z.B. herausgeschleuderte Insassen).

Die unabhängigen Variablen in Tabelle 8 sind in die vier Gruppen Fahrzeugmerkmale, Crash-Merkmale, Insassenmerkmale und Nutzungsmerkmale aufgeteilt. Für jede Variable ist die Variablenbezeichnung angegeben, die im Rahmen der Spezifikation der Modelle genutzt wird. Die dargestellten Variablen und deren Ausprägungen sind zum Teil nicht direkt in dieser Form in der NASS/CDS- bzw. GIDAS-Datenbank enthalten, sondern wurden durch die Verknüpfung und Umkodierung mehrerer Variablen gebildet. Für jede Variable ist das Skalenniveau angegeben, wobei zwischen metrischen, ordinalen, nominalen und nominal binären Variablen unterschieden wird. Die nominal binären Variablen haben nur zwei Ausprägungen und sind dichotom kodiert.

**Tabelle 8.** Ausgewählte Variablen aus der NASS/CDS- und GIDAS-Datenbank als Eingangsgrößen für die Prognosemodelle

Bezeichnung	Variablenname	Beschreibung	Ausprägungen	Erfassbarkeit
<b>abhängige Variable</b>				
MAIS 3 plus	mais3p <sup>nb</sup>	schwere Verletzung des Insassen (MAIS 3 bis 6)	yes (1); no (0)	
<b>unabhängige Variablen</b>				
<b>Fahrzeugmerkmale</b>				
Vehicle body type	bodytype <sup>n</sup>	Klassifikation des Fahrzeugtyps in eine Kategorie	2-3 doors/ limousine (1); Cabrio (2); van/ truck (3); other (4)	a
Vehicle model year	modelyr <sup>m</sup>	Baujahr bzw. Jahr der Erstzulassung im vierstelligen Jahresformat	[years]	a
Vehicle curb weight	curbwgt <sup>m</sup>	Leergewicht	[kg]	a
Airbag (front) available <sup>F</sup>	fbagavl <sup>nb</sup>	Verfügbarkeit eines Airbags (frontal) für die betrachtete Sitzposition	yes (1); no (0)	a
<b>Crash-Merkmale</b>				
Total delta V	dvtotal <sup>m</sup>	Delta V ist der relative Geschwindigkeitsverlust oder auch die vektorielle Geschwindigkeitsdifferenz (Auslauf minus Einlauf) einer Kollision	[km/h]	a
Direction of force (highest) <sup>F</sup>	dof <sup>n</sup>	Prinzipielle Richtung der Kraft (Ergebnis der durch Vektoranalyse bestimmten Richtung des Stoßimpulses), die bei der Kollision mit dem höchsten delta V auf das Fahrzeug eingewirkt hat (frontal: 11 Uhr bis 1 Uhr; right: 2 Uhr bis 4 Uhr; rear: 5 Uhr bis 7 Uhr; left: 8 Uhr bis 10 Uhr)	frontal (F); right (R), rear (B); left (L)	a
rollover <sup>F</sup>	roll <sup>nb</sup>	Überschlag (eine viertel Drehung und mehr)	yes (1); no (0)	a
Multi impact	multimp <sup>nb</sup>	Mehrfachkollision	yes (1); no (0)	a

Bezeichnung	Variablenname	Beschreibung	Ausprägungen	Erfassbarkeit
Narrow object collision	pole <sup>nb</sup>	Kollision mit einem pfahlähnlichen Objekt	yes (1); no (0)	b1
Airbag (frontal) deployed	fbagdep <sup>nb</sup>	Auslösung des Airbags (frontal) für die betrachtete Sitzposition	yes (1); no (0)	a
Intrusion for seat position	intrus <sup>o</sup>	Intrusion in den Fahrzeuginnenraum im Bereich der betrachteten Sitzposition	keine (0); von 3 cm bis 15 cm (1); von 16 cm bis 46 cm (2); größer 46 cm (3)	b1
Rim/ spoke deformation	rimdef <sup>nb</sup>	Verformung des Lenkradkranzes infolge eines Insassenaufpralls (nur für Fahrer)	yes (1); no (0)	b1
Deformation extern (max.)	defmax <sup>m</sup>	Maximale äussere Deformationstiefe	[cm]	b1
<b>Insassenmerkmale</b>				
Sex of occupant	sex <sup>nb</sup>	Geschlecht des Insassen	female (1); male (0)	c
Age of occupant	age <sup>m</sup>	Alter des Insassen	[years]	c
Weight of occupant	weight <sup>m</sup>	Gewicht des Insassen	[kg]	b2
Height of occupant	height <sup>m</sup>	Größe des Insassen	[cm]	b2
Body Mass Index	bmi <sup>m</sup>	Berechnung: Körpergewicht in kg / (Körpergröße in m) <sup>2</sup>	[kg/m <sup>2</sup> ]	b2
<b>Nutzungsmerkmale</b>				
Occupant's seat position <sup>F</sup>	seatpos <sup>n</sup>	Sitzposition des Insassen	driver (FL); passenger front (FR); passenger rear left (RL); passenger rear right (RR)	a
Seat track	seattrack <sup>n</sup>	Sitzeinstellung bei der betrachteten Sitzposition	middle (1); rear (2); forward (3)	b1
Belt use	beltuse <sup>nb</sup>	Nutzung des Sicherheitsgurtes durch den Insassen	yes (1); no (0)	a

*Variablen ausschließlich zur Filterung der Fälle: F*

*Skalenniveau der Variablen: n - nominal; nb - nominal/ binär; o - ordinal; m - metrisch*  
*Erfassbarkeit der Daten: Gruppe a - liegen bereits vor; Gruppe b1 - durch neue Sensorik*  
*erfaßbar (Crash-Merkmale); Gruppe b2 - durch neue Sensorik erfaßbar (Insassenmerkmale);*  
*Gruppe c - Insassenidentifikation erforderlich*

In der letzten Spalte der Tabelle 8 ist für jede Variable eine Bewertung bezüglich des Aufwandes zur automatischen Erfassung der Ausprägungen angegeben. Fahrzeugspezifische Merkmale sowie die Variablen, deren Ausprägungen im Regelfall bereits durch die Fahrzeugsensorik erfasst werden, sind für die einfache Erfassbarkeit mit der Bewertung *a* gekennzeichnet. Variablen, für deren Messung neue Sensorik bzw. neue Auswertungsalgorithmen erforderlich sind, werden mit *b1* bzw. *b2* bewertet. Die insassenspezifischen Merkmale, die nur durch eine Insassenidentifikation ermittelt werden können, werden bezüglich der Erfassbarkeit als aufwändig und damit mit *c* beurteilt. Die Bewertung der Eingangsgrößen nach der Erfassbarkeit ermöglicht einen Vergleich der Leistungsfähigkeit von Prognosemodellen, die Eingangsgrößen mit unter-

schiedlichem Erfassungsaufwand einbeziehen. Tabelle 9 zeigt eine Zusammenfassung der unabhängigen Variablen nach der Erfassbarkeit in vier Gruppen.

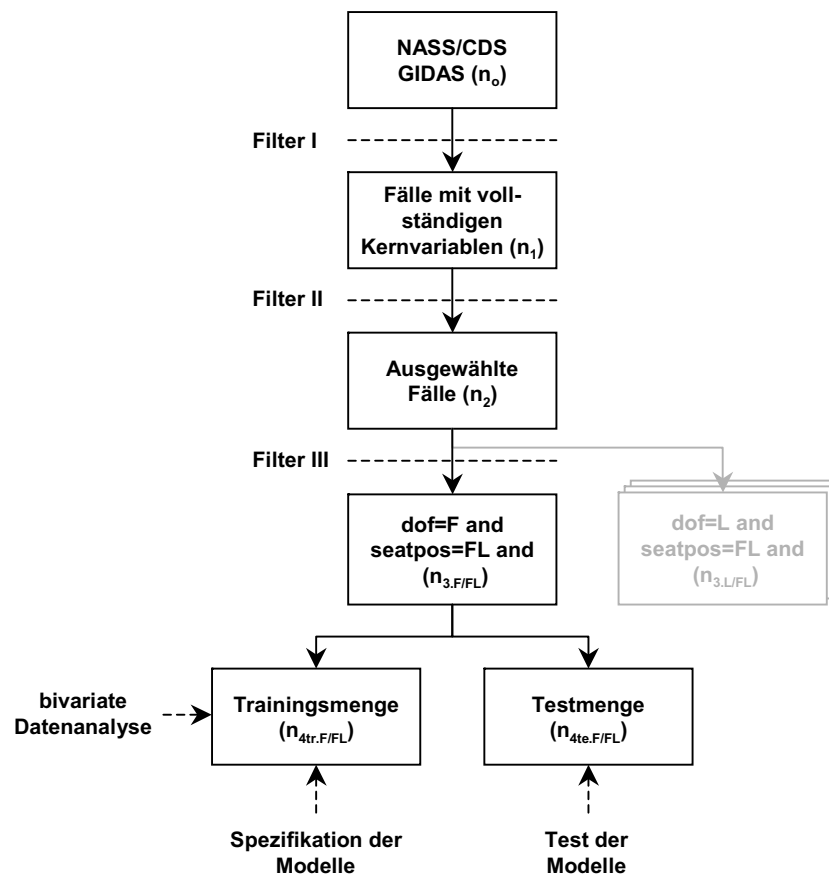
**Tabelle 9.** Gruppenzuordnung der Variablen nach Erfassbarkeit

Gruppe	Datenerfassung	Variablen
Gruppe a	keine neue Sensorik erforderlich	bodytype, modelyr, curbwt, dvtot, multimp, fbagdep, beltuse
Gruppe b1	neue Sensorik (Crash-Merkmale)	pole, intrus, defmax, rimdef, seattrack
Gruppe b2	neue Sensorik (Insassenmerkmale)	weight, height, bmi
Gruppe c	Insassenidentifikation	sex, age

Die ausgewählten Variablen sind nicht alle in direkter Form durch die Fahrzeugsensorik messbar (z.B. Intrusion, Pfahlaufprall), sondern müssen zum Teil durch Auswertung der Daten verschiedener Sensoren (z.B. Verzögerungsprofil, Deformationsensoren) berechnet werden. Diese Berechnung soll gemäß Abbildung 9 in der Variablentransformation erfolgen. Als Ergebnis liefert die Transformation die Ausprägungen der Variablen gemäß Tabelle 8. Die Vorgehensweise und die Algorithmen zur Variablentransformation werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

### 3.1.2 Datenaufbereitung

Die Abbildung 12 zeigt die Vorgehensweise zur Aufbereitung und Filterung der genutzten Datenbanken. Dabei werden nur die gemäß Tabelle 8 ausgewählten Variablen berücksichtigt.



**Abb. 12.** Vorgehensweise zur Filterung und Aufbereitung der Daten

Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung der meisten statistischen Verfahren und damit auch für die Anwendung der Prognoseverfahren der multivariaten Statistik ist die Vollständigkeit der zugrundeliegenden Datenmenge. D.h. für alle Fälle der Stichprobe müssen die Werte aller genutzten Variablen bekannt sein. Die Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens bieten für den Umgang mit fehlenden Werten mehr Möglichkeiten als Verfahren der multivariaten Statistik. Um allerdings eine Vergleichbarkeit zwischen den Verfahren zu erreichen, wird für ausgewählte Variablen die Anforderung der Vollständigkeit gestellt.

Die Ursachen der fehlenden Werte sowohl in der NASS/CDS-Datenbank als auch in der GIDAS-Datenbank sind nicht vollständig bekannt. Es wird davon ausgegangen,



dass im Rahmen der Unfallanalyse aus technischen und organisatorischen Gründen nicht immer alle Daten erhoben werden können und dass die fehlenden Werte rein zufällig verteilt sind (missing completely at random). Die fehlenden Werte müssen damit einerseits unabhängig von der Ausprägung des Merkmals selbst (missing at random) und andererseits unabhängig von der Ausprägung der anderen Merkmale des jeweiligen Falls (observed at random) sein. Für den Umgang mit fehlenden Werten stehen verschiedene Strategien zur Verfügung, die sich grundsätzlich in die drei Gruppen Eliminierungsverfahren, Parameterschätzverfahren und Imputationsverfahren einteilen lassen [Runte2005]. Bei den Eliminierungsverfahren werden alle Fälle mit fehlenden Werten aus den Daten entfernt. Dies führt zwar zu einer vollständigen Datenbasis, mit der uneingeschränkt gearbeitet werden kann, aber gleichzeitig auch zu einem hohen Informationsverlust. Bei den Parameterschätzverfahren werden für alle fehlenden Werte geschätzte Parameter eingesetzt, z. B. der Mittelwert für numerische Variablen oder der Modus für nominale Variablen. Mit Imputationsverfahren werden für jeden einzelnen Fall fehlende Werte geschätzt und damit die Daten vervollständigt. Die Schätzung kann beispielsweise durch ein hochkorreliertes anderes Merkmal, durch Zufallsauswahl oder durch Expertenratings erfolgen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird für die Variablen gemäß Tabelle 10, Filter I das Eliminationsverfahren angewendet. Einige dieser Variablen werden zur Filterung genutzt, während andere ausgewählt wurden, weil sie in den Voranalysen einen entscheidenden Einfluss auf die Verletzungsintensität gezeigt haben. Diese Variablen werden auch als Kernvariablen bezeichnet. Es werden dementsprechend nur Fälle zugelassen, für die die Ausprägungen der Kernvariablen bekannt sind. Für alle anderen Variablen wird bei der Anwendung der multivariaten statistischen Prognoseverfahren für fehlende Werte der Mittelwert bzw. Modus eingesetzt. Die Verfahren des maschinellen Lernens erlauben die Einbeziehung fehlender Werte, so dass beim Einsatz dieser Verfahren keine Parameterschätzung erforderlich ist.

Nach der Eliminierung aller Fälle aus der zur Verfügung stehenden Gesamtdatenbank, für die in den Kernvariablen fehlende Werte vorhanden sind, werden die Fälle ausgewählt, für die die Prognosemodelle zukünftig eingesetzt werden sollen. In den genutzten Datenbanken sind Unfälle in verschiedenen Konstellationen u. a. in Bezug auf Fahrzeugtypen, Aufprallart und Insassensitzposition enthalten, die sich im Unfallablauf und in den Verletzungsrisiken erheblich unterscheiden. Da für ein Prognosemodell, das alle Konstellationen abdeckt, eine geringe Leistungsfähigkeit zu erwarten ist, werden nur die Fälle für die Spezifikation einbezogen, für die ein einheitlicher Unfallablauf mit vergleichbaren Verletzungsrisiken angenommen werden kann.

Die Prognosemodelle werden nur bei Unfällen zum Einsatz kommen, bei denen eine automatische Unfallmeldung ausgelöst wurde. Die Datenmenge zum Training und Test der Modelle sollte dementsprechend nur die Unfälle enthalten, bei denen die Triggerschwelle für eine automatische Unfallmeldung überschritten wird.<sup>42</sup> Bei dieser Auswertung wird eine niedrige Triggerschwelle ( $dvtotal > 5$ ) angenommen, um möglichst alle schwerverletzten Insassen einzubeziehen. Die Auswahl der relevanten Fälle erfolgt nach Filter II.

**Tabelle 10.** Filtervariablen und Ausprägungen

Variable	einbezogene Ausprägungen
<b>Filter I</b>	
mais3p, dvttotal, bodytype, modelyr, curbwgt, bagavl, fbagdep, dof, roll, seatpos, beltuse	keine fehlenden Werte
<b>Filter II</b>	
age	$\geq 15$ and $\leq 98$
bodytype	(1) 2-3 doors/ limousine or (2) Cabrio or (3) van/ truck
modelyr	$\geq 1990$ (NASS); $\geq 1995$ (GIDAS)
curbwgt	$\geq 850$ kg and $\leq 3.000$ kg
bagavl	(1) yes
roll	(0) no
dvttotal	$\geq 5$ km/h
<b>Filter III</b>	
dof	(F) frontal
seatpos	(FL) driver

*In die Datenmenge werden die Fälle einbezogen, die die angegebenen Ausprägungen erfüllen.*

Aus der Literaturanalyse kann abgeleitet werden, dass einerseits die Aufprallart einen entscheidenden Einfluss auf die Verletzungsrisiken der Insassen hat und andererseits der Einfluss einzelner Variablen auf das Verletzungsrisiko zwischen den Aufprallrichtungen erheblich schwankt [Bahouth2004]. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass ähnliche Effekte bei unterschiedlichen Sitzpositionen auftreten. Einige Variablen haben nur bei einer bestimmten Sitzposition eine Bedeutung für die Vorhersage der Verletzungsintensität.<sup>43</sup> Aus diesem Grund ist es sinnvoll, für jede Hauptaufprallrichtung und jede Sitzposition der Insassen ein eigenes Prognosemodell zu spezifizieren. Ein Modell für alle Konstellationen müsste eine wesentlich höhere Komplexität aufweisen und wäre damit schwieriger zu handhaben. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Prognosemo-

<sup>42</sup> Es wird davon ausgegangen, dass das Prognosesystem sich nicht im Fahrzeug, sondern bei einem zentralen Provider befindet.

<sup>43</sup> Die Deformation des Lenkradkranzes hat beispielsweise nur für den Fahrer eine wesentliche Bedeutung für die Prognose der Verletzungsintensität.

delle nur für den Frontalaufprall und die Fahrersitzposition entwickelt und gegenübergestellt (Filter III). Die Spezifikation der Modelle für die verbleibenden Konstellationen kann anschließend nach dem gleichen Verfahren erfolgen.

Zum Abschluss der Datenaufbereitung wird die gefilterte Datenmenge in eine Trainings- und eine Testmenge aufgeteilt, da die Bewertung der Leistungsfähigkeit der spezifizierten Prognosemodelle nicht nur auf der Grundlage von Fällen erfolgen kann, an der die Modelle trainiert wurden (Resubstitutionsfehler, vgl. Kapitel 3.1.4). Die Bewertung muss zusätzlich auf der Grundlage einer unabhängigen Datenmenge erfolgen. Die Aufteilung der Daten wurde mit Hilfe eines Zufallsgenerators durchgeführt. Dabei wird darauf geachtet, dass das Verhältnis zwischen un- bzw. leichtverletzten und schwerverletzten Personen in beiden Mengen identisch ist.

### 3.1.3 Prognoseverfahren und Modellerstellung

Die vorliegende Problemstellung einer Prognose der Verletzungsintensität von Fahrzeuginsassen nach einem Verkehrsunfall kann als Klassifikationsproblem bzw. diskriminanzanalytisches Problem beschrieben werden. Auf der Grundlage einer repräsentativen Stichprobe einer definierten Grundgesamtheit, in der für jeden Fall sowohl die beobachteten Merkmale als auch die Klassenzugehörigkeit bekannt sind, sollen Prognosemodelle entwickelt werden. Diese Modelle sollen es anschließend ermöglichen, für neue Fälle, für die nur die Merkmale bekannt sind, die Klassenzugehörigkeit vorherzusagen. Das Problem lässt sich formal wie folgt darstellen:

Entspricht  $Z$  der definierten Grundgesamtheit von Fällen, dann ist  $\mathbf{z}_i \in Z$  ein Fall der Grundgesamtheit, der sich aus einem  $p$ -dimensionalen Merkmalsvektor  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p) \in X$  und einer eindimensionalen Zielgröße  $y \in Y$ , die im vorliegenden Fall binär skaliert ist  $y \in [0,1]$ , zusammensetzt. Ist  $y = 0$ , gehört der Fall zur Gruppe 0 (*un- bzw. leichtverletzt*); ist  $y = 1$ , gehört der Fall zur Gruppe 1 (*schwerverletzt*). Jeder Fall der Grundgesamtheit kann mit  $\mathbf{z}_i = (\mathbf{x}_i, y_i)$  beschrieben werden.

Es wird nun auf der Grundlage der Trainingsmenge  $\{(\mathbf{x}_i, y_i) | \mathbf{x}_i \in X, y_i \in Y, i = 1 \dots n\}$  ein Prognosemodell  $f(\mathbf{x})$  gesucht, das eine Zuordnung des Merkmalsvektors zur Zielgröße (Klassifikation) ermöglicht  $f: X \rightarrow Y$ . Für die Suche nach entsprechenden Prognosemodellen können unterschiedliche Zielkriterien genutzt werden. Das einfachste Kriterium ist die Minimierung der Summe der Klassifikationsfehler in der Trainingsmenge. Werden unterschiedliche Kosten für die unterschiedlichen Klassifikationsfehler angesetzt, muss die Kostenfunktion minimiert werden (vgl. Kapitel 3.1.4).

Tabelle 11 gibt einen Überblick über unterschiedliche Verfahren zur Entwicklung von Prognosemodellen aus dem Bereich der klassischen multivariaten Statistik sowie aus dem Bereich des maschinellen Lernens. Mit den Verfahren werden unterschiedliche Strategien zur Entwicklung eines Prognosemodells verfolgt. Die dargestellten Verfahren können bei einer nominal skalierten Zielgröße sowie bei metrisch und nominal skalierten unabhängigen Variablen eingesetzt werden.

**Tabelle 11.** Verfahren zur Entwicklung von Prognosemodellen

Verfahren der klassischen multivariaten Statistik	Verfahren des maschinellen Lernens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• lineare Diskriminanzanalyse</li> <li>• <b>logistische Regression</b> (logistische Diskriminanzanalyse)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assoziationsregeln, Regellisten</li> <li>• <b>Entscheidungsbauminduktion</b></li> <li>• Neuronale Netze</li> <li>• Genetische Algorithmen</li> <li>• Support-Vektor-Maschinen</li> </ul>

Im Rahmen dieser Arbeit werden die logistische Regression und die Entscheidungsbauminduktion genutzt. Im Bereich der klassischen multivariaten Statistik ist die logistische Regression eines der wenigen Verfahren, die ohne Annahmen über eine parametrische Verteilung der Merkmalsvariablen in der Grundgesamtheit auskommen. Die lineare Diskriminanzanalyse setzt eine Normalverteilung der Merkmalsvariablen voraus und ist damit auch nur für metrisch skalierte Merkmale einsetzbar. Diese Anforderungen werden von den vorliegenden Daten nicht erfüllt. Die Entscheidungsbauminduktion ist ein häufig genutztes Verfahren des maschinellen Lernens, das im Gegensatz zu Neuronalen Netzen, Genetischen Algorithmen und Support-Vektor-Maschinen Entscheidungsregeln erzeugt, die explizit vorliegen und für den Anwender des Prognosemodells transparent und nachvollziehbar sind. Die Nachvollziehbarkeit ist neben der Leistungsfähigkeit der Vorhersage ein wichtiges Kriterium für die Akzeptanz von Prognosemodellen in der Praxis. Aus diesem Grund wird die Entscheidungsbauminduktion als Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens ausgewählt.

### 3.1.3.1 Logistische Regression

Das Konzept der logistischen Regression besteht darin, ein Modell zu finden, mit dem die Wahrscheinlichkeit  $P(Y = 1|X)$  des Eintretens des Ereignisses  $Y = 1$  und damit der Zugehörigkeit zur Gruppe 1 bei einer gegebenen Merkmalsausprägung  $\mathbf{x}$  geschätzt werden kann. Um mit der geschätzten Wahrscheinlichkeit eine Klassifikation des betrachteten Falls durchzuführen, muss ein Trennwert (cut value)  $c$  gewählt werden, der die Klassifikationsgrenze bildet:

$$f(\mathbf{x}) = \begin{cases} 0, & P(Y = 1|\mathbf{x}) \leq c \\ 1, & P(Y = 1|\mathbf{x}) > c \end{cases} . \quad (1)$$

Die kleinste Fehlerrate (ohne Berücksichtigung unterschiedlicher Klassifikationsfehler) in einer gegebenen Trainingsmenge wird erreicht, wenn ein Fall mit der Merkmalsausprägung  $\mathbf{x}$  nach der Bayes-Entscheidungsregel [Handl2002] der Gruppe 1 zugeordnet wird und wenn:

$$P(Y = 1|\mathbf{x}) > P(Y = 0|\mathbf{x}) \quad (2)$$

$$\Rightarrow P(Y = 1|\mathbf{x}) > 1 - P(Y = 1|\mathbf{x}) \quad (3)$$

$$\Rightarrow P(Y = 1|\mathbf{x}) > \frac{1}{2} \text{ gilt.} \quad (4)$$

und damit, wenn  $c = \frac{1}{2}$  ist.

Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit  $P(Y = 1|\mathbf{x})$  erfolgt über die logistische Funktion

$$P(Y = 1|\mathbf{x}) = F(z_k) = \frac{1}{1 + e^{-z_k}}, \quad (5)$$

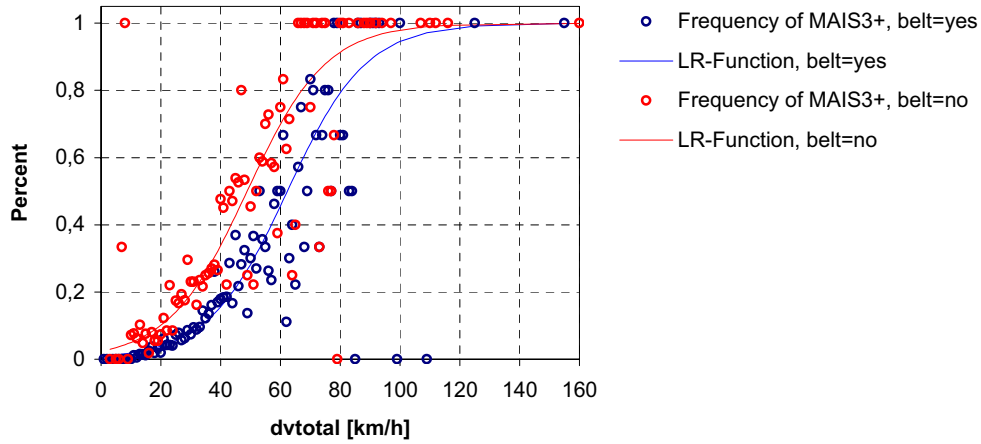
wobei die aggregierte Einflussgröße  $z_k$  durch eine Linearkombination der Merkmalsausprägungen  $\mathbf{x}$  gebildet wird:

$$z_k = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i x_i . \quad (6)$$

Die logistische Regressionsfunktion unterstellt damit einen nicht-linearen Zusammenhang zwischen der Eintrittswahrscheinlichkeit der binären Zielgröße und den Merkmalsausprägungen. Demgegenüber wird aber das Zustandekommen der aggregierten Einflussgröße  $z_k$  im Exponenten der logistischen Funktion als linear unterstellt.

Die Schätzung des Parameters  $\beta_0$  und der Regressionskoeffizienten  $\beta_i$  erfolgt mit Hilfe der *Maximum Likelihood*-Methode.<sup>44</sup> Ziel des Schätzverfahren ist es, den Parameter und die Koeffizienten des Regressionsmodells so zu bestimmen, dass die Wahrscheinlichkeit, die beobachteten Klassenzugehörigkeiten der Trainingsmenge zu erhalten, maximiert wird [Backhaus2003]. Abbildung 13 zeigt beispielhaft den Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeitsänderung *dvttotal* und der Verletzungsintensität als Streudiagramm und als logistische Funktion.

<sup>44</sup> Zur Schätzung der Koeffizienten wird die Software *SPSS* eingesetzt, in der die Maximierung der *Likelihood*-Funktion über den *Newton-Raphson*-Algorithmus erfolgt.



**Abb. 13.** Streudiagramm und logistische Funktion für die Verletzungswahrscheinlichkeit (MAIS 3 plus) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeitsänderung dvtotal

Der Einfluss einzelner Merkmale auf die Wahrscheinlichkeit der Gruppenzugehörigkeit lässt sich nicht über einen Vergleich der Regressionskoeffizienten bestimmen, wie es bei der linearen Regression möglich wäre, da die Merkmale als Exponent einer nicht-linearen Funktion eingehen. Es kann lediglich aus dem Vorzeichen der Regressionskoeffizienten auf die Richtung des Einflusses geschlossen werden. Ein negativer Koeffizient  $\beta_j$  führt bei steigendem Wert der Merkmalsvariable  $x_j$  zu einer kleineren Wahrscheinlichkeit für das Ereignis bzw. für die Gruppenzugehörigkeit  $Y = 1$ , da der Wert der aggregierten Einflussgröße  $z_k$  bei steigendem  $x_j$  sinkt und man sich damit auf der logistischen Funktion nach links bewegt. Positive Koeffizienten führen dementsprechend zu einer höheren Wahrscheinlichkeit für  $Y = 1$ . Eine Interpretation der Wirkungsstärke der Regressionskoeffizienten ist möglich, wenn nicht die Änderung der Eintrittswahrscheinlichkeit  $P(Y = 1|\mathbf{x})$  selbst, sondern das Verhältnis zur Gegenwahrscheinlichkeit  $P(Y = 0|\mathbf{x})$  betrachtet wird. Es gilt:

$$P(Y = 1|\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + e^{-z_k}} = \frac{e^{z_k}}{1 + e^{z_k}} \quad (7)$$

$$\Rightarrow P(Y = 1|\mathbf{x}) \cdot (1 + e^{z_k}) = e^{z_k} \quad (8)$$

$$\Rightarrow P(Y = 1|\mathbf{x}) + P(Y = 1|\mathbf{x}) \cdot e^{z_k} = e^{z_k} \quad (9)$$

$$\Rightarrow P(Y = 1|\mathbf{x}) = e^{z_k} - P(Y = 1|\mathbf{x}) \cdot e^{z_k} = e^{z_k}(1 - P(Y = 1|\mathbf{x})) \quad (10)$$

$$\Rightarrow \frac{P(Y = 1|\mathbf{x})}{1 - P(Y = 1|\mathbf{x})} = \frac{P(Y = 1|\mathbf{x})}{P(Y = 0|\mathbf{x})} = e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p} \quad (11)$$

$$\Rightarrow \frac{P(Y = 1|\mathbf{x})}{P(Y = 0|\mathbf{x})} = e^{\beta_0} \cdot e^{\beta_1 x_1} \cdot \dots \cdot e^{\beta_p x_p} \text{ bzw.} \quad (12)$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{P(Y = 1|\mathbf{x})}{P(Y = 0|\mathbf{x})}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p. \quad (13)$$

Das Verhältnis der komplementären Wahrscheinlichkeiten (Gl. 11 und Gl. 12) wird als Chance oder *odd* und das logarithmierte Verhältnis (Gl. 13) wird als *Logit* bezeichnet. Der *odd* gibt die Chance an, mit der ein betrachteter Fall der Gruppe 1 angehört. Die Chance kann je nach Interpretation und Kodierung der Zielgröße  $Y$  auch als Risiko verstanden werden. Die Gleichung 12 bietet eine Interpretationsmöglichkeit für die Wirkung einzelner Regressionskoeffizienten. Der Faktor  $e^{\beta_i x_i}$  wird als Effekt-Koeffizient (*odds ratio*) bezeichnet und gibt den Faktor an, um den sich das Wahrscheinlichkeitsverhältnis (*odds*) ändert, wenn die Merkmalsvariable  $x_i$  um eine Einheit erhöht wird und alle anderen konstant gehalten werden. Die Effekt-Koeffizienten werden für die Interpretation der Ergebnisse der logistischen Regression genutzt.

Zur Beurteilung der Modellgüte eines logistischen Regressionsansatzes werden der *Likelihood Ratio*-Test, die *Nagelkerke-R<sup>2</sup>*-Statistik und das Klassifikationsergebnis an der Trainings- und der Testmenge verwendet. Damit kann beurteilt werden, wie gut die Merkmalsvariablen in ihrer Gesamtheit eine Klassifizierung der Fälle ermöglichen (vgl. [Backhaus2003]).

Der *Likelihood Ratio*-Test dient dem Vergleich von zwei Modellen, die in einer definierten Spezialisierungs- bzw. Generalisierungsbeziehung zueinander stehen. Ein vollständiges Modell wird einem Modell mit gestrichenen Merkmalsvariablen (eingeschränktes Modell) gegenübergestellt und es wird die folgende Nullhypothese auf Signifikanz getestet: Das eingeschränkte Modell ist gültig, d.h. der Effekt der gestrichenen Merkmalsvariablen ist Null. Eine geringe Irrtumswahrscheinlichkeit für die Ablehnung der Nullhypothese impliziert einen signifikanten Beitrag der betrachteten Merkmalsvariablen zur Klassifikation der Fälle. Der *Likelihood Ratio*-Test wird für die Beurteilung der Gültigkeit des Gesamtmodells sowie für die Prüfung der Relevanz von weiteren Merkmalsvariablen eingesetzt, die in ein Modell aufgenommen werden.

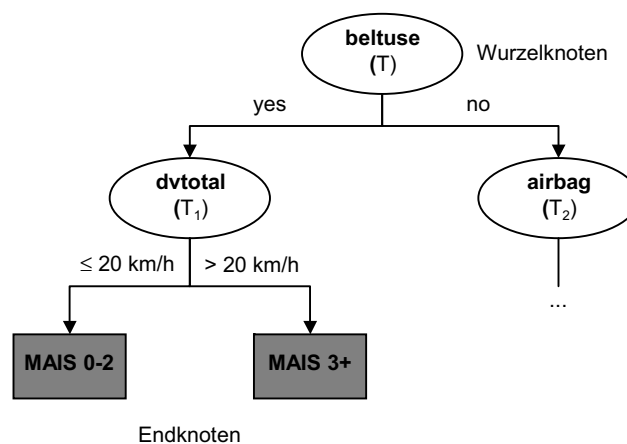
Die *Nagelkerke-R<sup>2</sup>*-Statistik ist eine sog. *Pseudo-R<sup>2</sup>*-Statistik, mit der versucht wird, den Anteil der erklärten Variation des gesamten logistischen Regressionsmodells zu quantifizieren (vergleichbar mit dem Ansatz der *R<sup>2</sup>*-Statistik der linearen Regression). Der Wert von *Nagelkerke-R<sup>2</sup>* erreicht einen Maximalwert von eins, wenn die Varianz der abhängigen Variable vollständig durch die unabhängigen Variablen erklärt wird. Bei einem Wert ab 0,2 kann von einer akzeptablen, ab 0,4 von einer guten und ab 0,5 von einer sehr guten Anpassung des Gesamtmodells ausgegangen werden [Backhaus2003].

Die Prüfung der Signifikanz einzelner Koeffizienten innerhalb des logistischen Regressionsansatzes erfolgt mit der *Wald*-Statistik, die die Nullhypothese testet, dass der Regressionskoeffizient des betrachteten Merkmals Null ist, d.h. dass das Merkmal keinen Einfluss auf die Trennung der Gruppen hat.

### 3.1.3.2 Entscheidungsbauminduktion

Im Unterschied zur logistischen Regression werden bei Entscheidungsbäumen nicht alle Merkmale gleichzeitig für die Entscheidungsfindung bzw. Klassifikation einbezogen, sondern die Gesamtmenge an Fällen wird sequentiell nach den Ausprägungen der Merkmalsvariablen in Untermengen zerlegt. Die Untermengen werden am Ende der Zerlegung einer Klasse zugeordnet, die den Ausprägungen der abhängigen Variablen entspricht.

Ein Entscheidungsbaum besteht aus Knoten und Ästen. Die Knoten können in Entscheidungsknoten und Endknoten unterteilt werden. Zu jedem Entscheidungsknoten gehört eine Merkmalsvariable. Die von einem Entscheidungsknoten ausgehenden Äste entsprechen den möglichen Ausprägungen der Merkmalsvariable. Die Endknoten eines Entscheidungsbaumes entsprechen immer einer Klasse bzw. dem Wert der abhängigen Variable. Der oberste Knoten eines Baumes wird als Wurzelknoten bezeichnet (Abb. 14).



**Abb. 14.** Beispielhafter Entscheidungsbaum

Der Aufbau eines Entscheidungsbaumes kann als rekursiver Prozess beschrieben werden. Zunächst wird eine Merkmalsvariable als Wurzelknoten ausgewählt, von dem für jeden möglichen Wert der Variable eine Verzweigung ausgeht. Der Prozess kann für eine weitere Aufteilung rekursiv für jede Verzweigung ausgeführt werden, wobei nur die Instanzen berücksichtigt werden, die die entsprechende Verzweigung erreichen. Ein



Endknoten wird erreicht und der Prozess kann abgebrochen werden, wenn alle Instanzen einer Verzweigung dieselbe Klasse aufweisen.

Um festzulegen, nach welchem Merkmal jeweils in einem Knoten die Aufteilung erfolgt, werden je nach Algorithmus unterschiedliche Methoden eingesetzt. Der im Rahmen dieser Arbeit genutzte Algorithmus *C5* von Ross Quinlan und *CART* von Saleford Systems beruht auf dem Ansatz der Maximierung des Informationsgewinnverhältnisses, das durch die Aufteilung der Instanzen eines Astes nach einem Merkmal erzielt wird. Für die Zerlegung wird immer das Merkmal ausgewählt, das zu dem höchsten Informationsgewinnverhältnis für den betrachteten Ast führt. Zur Berechnung des Informationsgewinnverhältnisses für ein Merkmal an einem Knoten wird zunächst die Informationsmenge berechnet, die noch erforderlich ist, um die Instanzen der Testmenge in dem betrachteten Ast zu klassifizieren. Diese Informationsmenge wird auch als Entropie bezeichnet und berechnet sich gemäß Gleichung 14, wobei  $T$  die Menge der Instanzen im betrachteten Ast ist,  $c$  die Anzahl der Klassen, in die die Instanzen aufgeteilt werden sollen und  $p_i$  die Wahrscheinlichkeit einer Instanz der Menge  $T$ , der Klasse  $i$  anzugehören.

$$Info(T) = -\sum_{i=1}^c p_i \cdot \log(p_i) \quad (14)$$

Die Entropie nach der Aufteilung der Menge  $T$  in die Untermengen  $T_1, \dots, T_j, \dots, T_n$  durch das Merkmal  $x$  wird gemäß Gleichung 15 als gewichtetes Mittel der Informationsmenge berechnet, die noch benötigt wird, um die Klassen eines Elementes von  $T_j$  zu identifizieren.  $n(T_j)$  ist die Anzahl der Elemente in der Menge  $T_j$ .

$$Info(T|x) = \sum_{j=1}^n \frac{n(T_j)}{n(T)} \cdot Info(T_j) \quad (15)$$

Der Informationsgewinn (*gain*) durch die Aufteilung eines Astes nach dem Merkmal  $x$  ergibt sich aus der Differenz der Entropie vor und nach der Aufteilung:

$$gain(T, x) = Info(T) - Info(T|x) \quad (16)$$

Das Informationsgewinnverhältnis (*gain ratio*) wird gemäß Gleichung 17 gebildet, um Merkmale mit einer großen Anzahl von Ausprägungen nicht zu bevorzugen.

$$gain \ ratio(T, x) = \frac{gain(T, x)}{Info(T|x)} \quad (17)$$

In Abhängigkeit von den Trainingsdaten und den gewählten Abbruchkriterien können sehr komplexe, stark verästelte Bäume entstehen, die so gut an die Trainingsdaten angepasst sind (*overfitting*), dass neue Daten nicht mehr richtig vorhergesagt werden

können. Kleinere und einfachere Bäume können in ihren Leistungen den komplexen Bäumen überlegen sein. Aus diesem Grund verfügen die Algorithmen über Methoden, um in der Baumbildungsphase zu entscheiden, wann die Entwicklung von Unterbäumen eingestellt werden soll (*Prepruning*) oder wie vollständig aufgebaute Bäume wieder beschnitten werden können (*Postpruning*) [Witten2001].

Eine Verbesserung der Vorhersageleistung von Entscheidungsalgorithmen kann durch die Kombination mehrerer Modelle erreicht werden, die parallel für eine Instanz eine Klassifizierung durchführen. Über eine Mehrheitsentscheidung der Modelle werden die unterschiedlichen Klassifikationen zu einer einzigen Vorhersage verschmolzen. Der Algorithmus *C5* führt die Kombination mehrerer Modelle nach der *Boosting*-Methode durch, bei der iterativ Entscheidungsbäume generiert werden, die auf die Instanzen spezialisiert werden, die von früheren Modellen falsch klassifiziert wurden. Zur Herbeiführung einer einheitlichen Klassifikation aus den generierten Entscheidungsbäumen werden die Klassifikationen der einzelnen Bäume nach ihrer Leistungsfähigkeit gewichtet und daraus eine Mehrheitsentscheidung bestimmt.

Bei den genutzten Entscheidungsbauminduktionsalgorithmen *C5* und *CART* ist es möglich, für den Aufbau der Entscheidungsbäume Gewichtungen für unterschiedliche Fehlerarten (vgl. Kapitel 3.1.4) einzubeziehen. Damit werden die Entscheidungsbäume so optimiert, dass nicht die Anzahl der Fehlklassifikationen, sondern die Summe der gewichteten Fehlklassifikationen minimiert wird. Die Gewichtungsfaktoren werden im Regelfall als Kosten für Fehlklassifikationen interpretiert.

### 3.1.3.3 Vorgehensweise zur Erstellung der Prognosemodelle

Bevor die Prognosemodelle mit den ausgewählten Verfahren spezifiziert werden, wird eine bivariate Analyse des Zusammenhangs zwischen jeweils einer unabhängigen Variable und der abhängigen Variable (*mais3p*) durchgeführt. Dazu werden der Rangkorrelationskoeffizient *Spearman Rho* und die logistische Regression mit nur einer unabhängigen Variable eingesetzt. Beide Verfahren haben den Vorteil, dass an die Daten keine Anforderungen an ein Intervallskalenniveau oder an eine Normalverteilung gestellt werden müssen. Beim Rangkorrelationskoeffizienten werden die intervallskalierten Daten (z.B. *modelyr*) als ordinales Skalenniveau interpretiert. Nominal skalierte Variablen werden zu Dummy-Variablen mit der Kodierung 0/1 für jede Ausprägung umkodiert. In die logistische Regression werden die nominal und ordinal skalierten Merkmale als kategoriale Daten eingebracht.

## Modellerstellung mit der logistischen Regression

Für die Erstellung der logistischen Regressionsmodelle wird die *SPSS*-Prozedur *LOGISTIC REGRESSION* eingesetzt. Als Regressoren für die logistische Regression werden unterschiedliche Gruppierungen der ausgewählten Eingangsgrößen vorgegeben. Für jede Gruppierung wird ein Modell erzeugt. Welche der vorgegebenen Regressoren in das Regressionsmodell aufgenommen werden, wird über die von *SPSS* unterstützte automatische Modellsuche *FSTEP(LR)* festgelegt. Dabei wird schrittweise anhand von Signifikanztests entschieden, ob ein weiterer und ggf. welcher Regressor in das Modell aufgenommen werden soll. Die Signifikanztests werden nach dem *Likelihood Ratio*-Test durchgeführt. Die automatische Modellsuche führt allerdings nicht zwangsläufig zum optimalen Modell. Die Gruppierung der Variablen, die als Regressoren vorgegeben werden, erfolgt nach dem Aufwand für die Erfassbarkeit der Variablen über die Fahrzeugsensorik (vgl. Kapitel 3.1.1.3, Tabelle 9). Folgende vier Gruppen der Eingangsgrößen werden gebildet:

- Variablen der Gruppe *a*
- Variablen der Gruppe *a* und der Gruppe *b1*
- Variablen der Gruppe *a*, der Gruppe *b1* und der Gruppe *b2*
- Variablen der Gruppe *a*, der Gruppe *b1*, der Gruppe *b2* und der Gruppe *c*.

Um den Einfluss einzelner Variablen auf die Prognosegüte der Modelle zu untersuchen, werden anschließend sukzessiv durch systematisches Hinzunehmen und Entfernen von Variablen neue Modelle gebildet. Die Leistungsfähigkeit der Modelle wird in der Trainings- und der Testmenge beurteilt.

## Modellerstellung mit der Entscheidungsbauminduktion

Für die Erstellung von Entscheidungsbäumen werden die Software *C5* von Ross Quinlan und die Software *CART V5.0* von Saleford Systems eingesetzt.<sup>45</sup> Analog zur Vorgehensweise bei der logistischen Regression werden unterschiedliche Gruppen von Variablen für die Modellbildung vorgegeben. Um Modelle mit unterschiedlichen Klassifikationseigenschaften bezüglich Sensitivität und Spezifität zu erzeugen, werden für jede Gruppe von vorgegebenen Variablen Modelle mit unterschiedlichen Verhältnissen der Fehlklassifikationskosten (*FN/FP*) erzeugt. Folgende Verhältnisse werden genutzt: 0/1, 1/1, 2/1, 4/1, 8/1, 16/1, 32/1, 48/1, 1/0. Der Einfluss einzelner Variablen auf das Klassifikationsergebnis wird wiederum durch systematisches Hinzunehmen und Entfer-

---

<sup>45</sup> Für den Einsatz von *C5* wurden die Standardeinstellungen für die folgenden Parameter geändert, um die Größe der Entscheidungsbäume zu begrenzen: *pruning severity* = 85% und *minimum records per child branch* = 4.

nen von Variablen untersucht. Zum Vergleich der Vorhersageleistung des Algorithmus C5 mit einer Mittelwertbildung über mehrere Entscheidungsbäume werden alternative Modelle unter Nutzung der *Boosting*-Methode generiert.

### 3.1.4 Bewertung und Vergleich der Leistungsfähigkeit der Prognosemodelle

Die Bewertung der Leistungsfähigkeit der entwickelten Prognosemodelle erfolgt an der Trainingsmenge sowie an der davon unabhängigen Testmenge. Bei einer Bewertung der Modelle an der Trainingsmenge wird die Leistungsfähigkeit im Regelfall überschätzt. Die Anpassung eines Modells an die Trainingsmenge führt dazu, dass die Klassenzugehörigkeit von Instanzen dieser Menge mit einer höheren Genauigkeit vorhergesagt werden kann als die Klassenzugehörigkeit von Instanzen einer unabhängigen Menge. Der Fehler, der beim Testen aus der Rückübertragung eines Modells auf seine eigene Trainingsmenge entsteht, heißt Resubstitutionsfehler [Handl2002]. Zur Vermeidung des Fehlers muss ein Teil der Daten für den Test der Modelle zurückbehalten werden (Holdout). Aus diesem Grund wurden die zur Verfügung stehenden Daten in eine Trainings- und eine Testmenge unterteilt. Bei der Unterteilung wurde darauf geachtet, dass die unterschiedlichen Klassen aus der vollständigen Datenmenge auch in den Trainings- und Testmengen im gleichen Verhältnis vorkommen (Stratifikation). Nur dann kann mit der Trainingsmenge ein Modell entwickelt werden, das auch die Testmenge optimal klassifiziert [Witten2001].

Zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der Prognosemodelle werden mehrere Bewertungsmaßstäbe genutzt. Die einfachste Darstellung der Ergebnisse einer Klassifikation kann bei einem 2-Klassen-Problem in einer 2x2 Klassifikationsmatrix (Confusion Matrix) gemäß Abbildung 15 erfolgen.

		True Class	
		positive	negative
Hypothesized Class	positive	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	negative	False Negative (FN)	True Negative (TN)
		$P = TP + FN$	$N = FP + TN$

**Abb. 15.** Klassifikationsmatrix (Confusion Matrix)

Bei der vorliegenden Problemstellung werden un- bzw. leichtverletzte Insassen als negatives Ereignis (negative Klasse) und schwerverletzte Insassen (MAIS 3 plus) als positives Ereignis (positive Klasse) definiert.

Das am häufigsten gebrauchte Bewertungsmaß ist die Erfolgsrate (Accuracy), die den Anteil der gesamten richtigen Vorhersagen beschreibt (Gl. 18).

$$AC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (18)$$

Die Accuracy berücksichtigt allerdings nicht die unterschiedlichen Fehlerarten und verliert an Aussagekraft, wenn der Anteil der positiven und negativen Klassen in der Grundgesamtheit nicht identisch ist. Unabhängig von der Klassenverteilung sind die Genauigkeitsmaße Sensitivität und Spezifität (Gl. 19 und 20). Die Sensitivität beschreibt den Anteil der positiven Ereignisse, die korrekt klassifiziert wurden, und entspricht der True Positive rate ( $TP_{rate}$ ). Die Spezifität beschreibt den Anteil der richtig klassifizierten negativen Ereignisse und entspricht der True Negative rate ( $TN_{rate}$ ) bzw. der 1-False Positive rate ( $1 - FP_{rate}$ ).

$$SE = TP_{rate} = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (19)$$

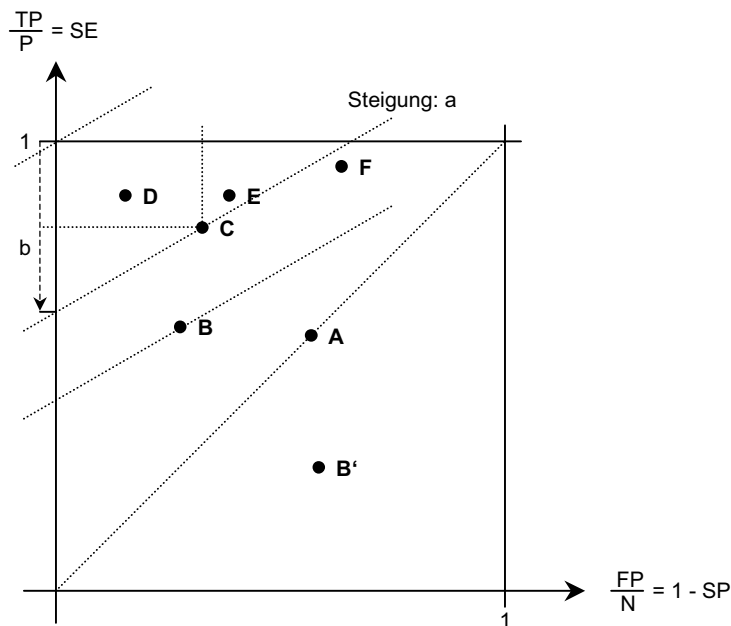
$$SP = TN_{rate} = \frac{TN}{N} = \frac{TN}{TN + FP} = 1 - \frac{FP}{TN + FP} = 1 - FP_{rate} \quad (20)$$

Für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Prognosemodells müssen Sensitivität und Spezifität immer als Paar betrachtet werden. Ein Prognosemodell, das alle Instanzen positiv klassifiziert, erreicht eine Sensitivität von 100%, wobei keine der negativen Instanzen identifiziert wird. Der hohen Sensitivität steht dementsprechend eine Spezifität von Null gegenüber. Vice versa, erreichen Modelle, die alle Instanzen negativ klassifizieren, eine Spezifität von 100% und eine Sensitivität von 0%. Die Leistungsfähigkeit von Prognosemodellen ist um so besser, je höher gleichzeitig Sensitivität und Spezifität sind. Ideale Modelle, die zwischen den Instanzen perfekt trennen, erreichen eine Sensitivität und Spezifität von jeweils 100%.

Der Zusammenhang zwischen Sensitivität und Spezifität kann im ROC-Diagramm (Abb. 16) veranschaulicht werden, in dem 1-Spezifität (False Positive rate, gemäß Gl. 20) auf der Abszisse und die Sensitivität (True Positive rate,  $FP_{rate}$ ) auf der Ordinate aufgetragen werden.<sup>46</sup>

<sup>46</sup> Das ROC (Relative Operating Characteristic) Diagramm stammt aus dem Bereich der Signalerkennung und diente ursprünglich im 2. Weltkrieg zur Analyse von Radarbildern.

In Abbildung 16 sind beispielhaft die Ergebnisse der Klassifikation einer Testmenge durch unterschiedliche Prognosemodelle dargestellt (Punkte A bis F). Die Ergebnisse sind unabhängig vom Verhältnis zwischen positiven und negativen Klassen in der Testmenge. Klassifikationsergebnisse, die auf der Winkelhalbierenden liegen (Punkt A), entsprechen den Ergebnissen einer Klassifikation nach einem Zufallsverfahren, da für alle Punkte auf der Winkelhalbierenden die True Positive rate der False Positive rate entspricht. Die Lage eines Punktes auf der Winkelhalbierenden wird durch den Anteil, den ein Zufallsklassifikator positiv klassifiziert, beeinflusst. Alle Prognosemodelle, die zu Sensitivitäts-Spezifitäts-Paaren links oberhalb der Winkelhalbierenden führen, nutzen Informationen der Instanzen, um eine verbesserte Klassifikation durchzuführen. Modelle, die Punkte unterhalb der Winkelhalbierenden (Punkt B') erzeugen, können negiert werden (Negation der Klassifikationsergebnisse), so dass sie zu einem gespiegelten Punkt B oberhalb der Winkelhalbierenden führen [Fawcett2003].



**Abb. 16.** ROC-Diagramm mit diskreten Klassifikationsergebnissen

Ein direkter Vergleich der Leistungsfähigkeit von zwei unterschiedlichen Modellen ist nur dann möglich, wenn die Klassifikationsergebnisse sowohl in der Sensitivität als auch in der Spezifität besser bzw. schlechter sind. Ein Modell, das das Klassifikationsergebnis D erzeugt, ist in der Leistungsfähigkeit dem Modell mit einem Klassifikationsergebnis C gleichwertig oder überlegen, wenn:

$$SE_D \geq SE_C \text{ und } SP_D \geq SP_C \text{ gilt.} \quad (21)$$

Ist eine der Größen Sensitivität oder Spezifität kleiner (vgl. Punkt C und E), kann zunächst keine Aussage über einen Unterschied der Leistungsfähigkeit der Modelle getroffen werden. Eine Einheit Sensitivität ist nicht unbedingt mit einer Einheit Spezifität vergleichbar. Um dennoch eine Vergleichbarkeit zwischen Modellen mit unterschiedlichen Sensitivitäts-Spezifitäts-Ergebnissen zu erreichen, müssen Annahmen über die Verteilung der Klassen in der Grundgesamtheit (Prävalenz) sowie über den spezifischen Schaden bzw. die spezifischen Kosten von Fehlklassifikationen getroffen werden. Sind  $k_{FP}$  die spezifischen Kosten für eine falsche positive Klassifikation und  $k_{FN}$  die spezifischen Kosten für eine falsche negative Klassifikation, gilt für die gesamten Fehlklassifikationskosten  $K$ :

$$K = k_{FP} \cdot FP + k_{FN} \cdot FN \quad (22)$$

$$\Rightarrow K = k_{FP} \cdot FP + k_{FN} \cdot (P - TP) \text{ mit } FN = P - TP \quad (23)$$

$$\Rightarrow \frac{K}{k_{FN}} = \frac{k_{FP}}{k_{FN}} \cdot FP + P - TP \quad (24)$$

$$\Rightarrow \frac{TP}{P} = \left( \frac{k_{FP}}{k_{FN}} \cdot \frac{N}{P} \right) \cdot \frac{FP}{N} + 1 - \left( \frac{K}{k_{FN}} \right) \cdot \frac{1}{P} \quad (25)$$

$$\Rightarrow \frac{TP}{P} = a \cdot \frac{FP}{N} + 1 - b \cdot \frac{1}{P} \text{ mit } a = \frac{k_{FP}}{k_{FN}} \cdot \frac{N}{P} \text{ und } b = \frac{K}{k_{FN}}. \quad (26)$$

Nur ein ideales Prognosemodell mit einer perfekten Trennung der Klassen erreicht Fehlklassifikationskosten von Null ( $K = 0$ ). In diesem Fall beschreibt Gleichung 26 im ROC-Diagramm (Abb. 16) eine Gerade (Iso-Kosten-Gerade) durch den Punkt (0;1) mit der Steigung  $a$ . Im betrachteten Raum mit:

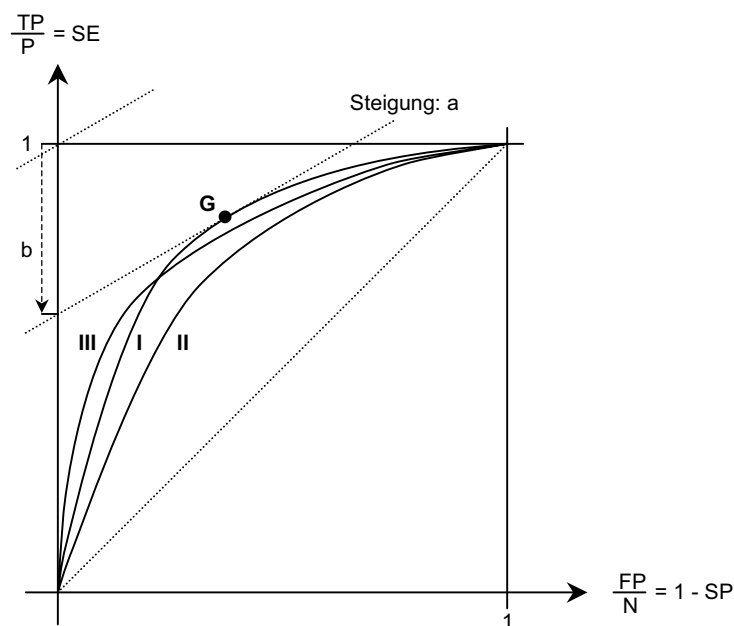
$$0 \leq \frac{TP}{P} \leq 1 \text{ und } 0 \leq \frac{FP}{N} \leq 1 \quad (27)$$

liegt nur ein Punkt auf dieser Geraden, nämlich das Ergebnis eines idealen Prognosemodells mit einer Sensitivität und Spezifität von jeweils 100%. Die Gerade durch den Punkt C in Abbildung 16 verbindet die Ergebnisse von allen Prognosemodellen, die zu gleichen Kosten wie das Modell C führen. Alle Prognosemodelle, die Sensitivitäts-Spezifitäts-Ergebnisse links oberhalb der Geraden durch den Punkt C erzeugen, zeigen für die zugrundeliegende Problemstellung eine bessere Leistungsfähigkeit als das Modell C. Alle Modelle, die Punkte unterhalb der Geraden liefern, haben eine schlechtere Leistungsfähigkeit. Punkt E ist damit besser als Punkt C und Punkt F ist schlechter als Punkt C.

Entscheidungsbäume führen immer zu einer diskreten Klassifikation einer Testmenge, d.h. jeder Entscheidungsbaum führt zu genau einer Klassifikationsmatrix und

dementsprechend nur zu einem Punkt im ROC-Diagramm. Soll ein anderes Sensitivitäts-Spezifitäts-Ergebnis erzielt werden, muss ein neuer Entscheidungsbaum unter Berücksichtigung anderer Kostenverhältnisse für Fehlklassifikationen entwickelt werden. Die logistische Regression liefert im Gegensatz zu Entscheidungsbäumen zunächst kein diskretes Klassifikationsergebnis, sondern eine Wahrscheinlichkeit für die Klassenzugehörigkeit. Um von der Wahrscheinlichkeit zu einer diskreten Klassifikation zu gelangen, wurde gemäß Gleichung 1 ein Trennwert festgelegt, der die Klassifikationsgrenze darstellt. Je nach der Höhe des Trennwertes werden unterschiedliche Klassifikationsergebnisse und damit auch unterschiedliche Sensitivitäts- und Spezifitäts-Werte erzeugt.

Wird der Trennwert im Intervall  $[0;1]$  variiert und werden die Sensitivitäts-Spezifitäts-Paare in das ROC-Diagramm eingezeichnet und miteinander verbunden, entsteht eine kontinuierliche ROC-Kurve (Abb. 17).



**Abb. 17.** ROC-Diagramm mit kontinuierlichen Klassifikationsergebnissen

Das optimale Sensitivitäts-Spezifitäts-Paar und damit der optimale Trennwert für eine spezifische Problemstellung liegen im Schnittpunkt der ROC-Kurve mit der Tangente, deren Steigung gemäß Gleichung 26 bestimmt wird (Abb. 17, Kurve I). Sollen zwei Prognosemodelle miteinander in ihrer Leistungsfähigkeit bezüglich einer zugrundeliegenden Testmenge verglichen werden, kann ein Modell eindeutig dem anderen vorgezogen werden, wenn sich die Kurven nicht schneiden und wenn die ROC-Kurve des einen Modells links oberhalb der Kurve des anderen liegt. Im Beispiel ist das Modell



mit der ROC-Kurve I dem Modell mit der ROC-Kurve II überlegen. Schneiden sich die ROC-Kurven (Kurve I und III), kann eine Aussage über die höhere Leistungsfähigkeit eines Modells nicht generell, sondern nur innerhalb bestimmter Intervalle getroffen werden. Eine Vergleichbarkeit zwischen mehreren Modellen, unabhängig vom Arbeitspunkt, ist über die Fläche unter der ROC-Kurve (Area under ROC-Curve, AUC) als Kennzahl für die durchschnittliche Leistungsfähigkeit möglich. Der AUC-Wert variiert zwischen 0,5 und 1 und ist um so größer, je höher die durchschnittliche Leistungsfähigkeit eines Prognosemodells ist [Fawcett2003].

Um einen Vergleich zwischen Modellen mit kontinuierlichen und diskreten Klassifikationsergebnissen über den AUC-Wert durchführen zu können, müssen zunächst ROC-Kurven für die diskreten Klassifizierer erzeugt werden. Dazu werden Prognosemodelle mit unterschiedlichen Ansätzen für Fehlklassifikationskosten generiert. Werden die Sensitivitäts-Spezifitäts-Ergebnisse der Modelle an der Trainings- bzw. Testmenge in ein ROC-Diagramm eingezeichnet und miteinander verbunden, entsteht eine „eckige“ Kurve. Die Fläche unter der Kurve wird über die Trapezintegration gemäß Gleichung 28 bestimmt:

$$AUC = \sum_{i=1} \left\{ \Delta SE_i \cdot SP_i + \frac{1}{2} \cdot \Delta SE_i \cdot SP_i \right\} \quad (28)$$

$$\text{mit } \Delta SE_i = SE_i - SE_{i-1}, \Delta SP_i = SP_i - SP_{i-1} \text{ und} \quad (29)$$

$$\Delta SE_0 = 0 \text{ bzw. } \Delta SP_0 = 1 \quad (30)$$

Der Vergleich der Fläche unter dieser Kurve mit nur einzelnen Eckpunkten mit der Fläche unter einer kontinuierlichen ROC-Kurve kann nur bedingt durchgeführt werden, da die Abschätzung der Fläche durch einzelne Eckpunkte zu einer systematischen Unterschätzung der Fläche führt [Bradley1997].

Die Sensitivitäts- und Spezifitäts-Ergebnisse sowie die AUC-Werte sind Schätzungen auf Basis der zugrundeliegenden Trainings- bzw. Testmenge, so dass für diese Größen für eine sinnvolle Interpretation der Standardfehler  $SE_{ERR}$  und das Konfidenzintervall  $CI$  bestimmt werden müssen. Der Standardfehler und das Konfidenzintervall für Sensitivität  $SE$  und Spezifität  $SP$  hängen gemäß Gleichung 31 und 32 von der Größe der Trainings- bzw. Testmenge und von der Prävalenz ab [Kraemer1992, Westin2002].

$$SE_{ERR}(SE) = \sqrt{\frac{SE(1-SE)}{P}} \quad (31)$$

$$SERR(SP) = \sqrt{\frac{SP(1-SP)}{N}} \quad (32)$$

$$CI(SE) = SE \pm z_{\alpha} SERR(SE) \text{ bzw. } CI(SP) = SP \pm z_{\alpha} SERR(SP) \quad (33)$$

Der Standardfehler der Fläche unter der ROC-Kurve  $AUC$  wird berechnet nach [Bradley1997]:

$$CI(AUC) = \sqrt{\frac{AUC(1-AUC) + (P+1)(Q_1 - AUC^2) + (N-1)(Q_2 - AUC^2)}{P \cdot N}} \quad (34)$$

$$\text{mit } Q_1 = \frac{AUC}{(2-AUC)} \text{ und } Q_2 = \frac{2 \cdot AUC^2}{(1+AUC)}. \quad (35)$$

Die Berechnung des Konfidenzintervalls des AUC-Wertes erfolgt analog Gleichung 33.

### 3.1.5 Klassifikation zur Dispositionsempfehlung

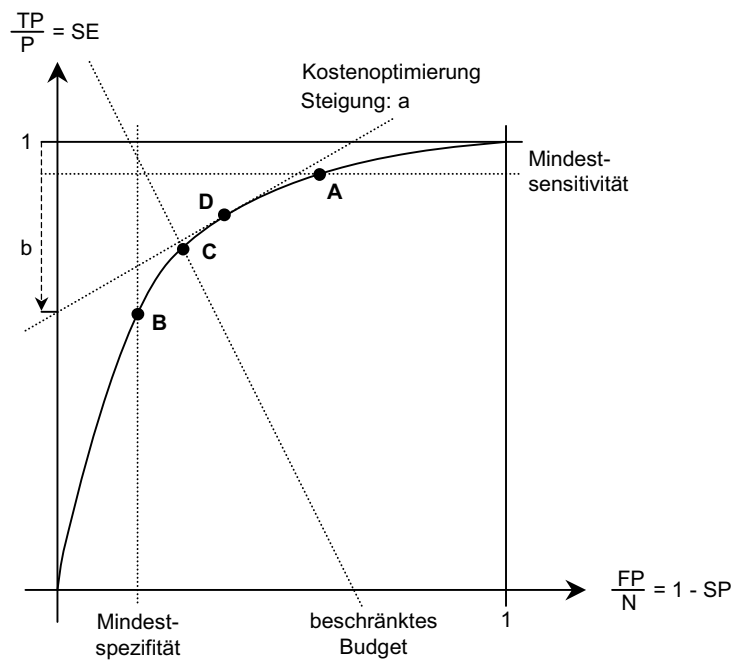
In Kapitel 3.1.4 wurde die methodische Vorgehensweise beschrieben, die für die Darstellung und den Vergleich der Ergebnisse der Prognosemodelle in einem ROC-Diagramm benutzt wird. Dabei wurde festgestellt, dass die Modelle, je nach Einstellung des Arbeitspunktes, zu unterschiedlichsten Sensitivitäts-Spezifitäts-Ergebnissen führen und ein direkter Vergleich der Ergebnisse ohne weitere Anforderungen an das Klassifikationsergebnis nur eingeschränkt möglich ist. Es stellt sich nun die Frage, welcher Arbeitspunkt für die Ableitung einer Dispositionsempfehlung für die Rettungsleitstelle gewählt werden soll.

Die beste Versorgung der Unfallopfer wird zweifelsfrei dann erreicht, wenn für jeden Unfall ein notarztbesetztes Rettungsmittel disponiert wird. Unter Berücksichtigung der Kosten bzw. der dafür erforderlichen Ressourcen ist eine derartige Versorgung in der Praxis nicht möglich und im Hinblick auf die Ressourcenallokation nicht optimal.

Für die Wahl eines Arbeitspunktes ergeben sich zwei grundsätzlich unterschiedliche Strategien. Die einfachste und pragmatischste Strategie besteht darin, direkte Anforderungen an das Klassifikationsergebnis zu stellen, die sich aus praktischen Erwägungen oder ethischen Überlegungen ergeben (z.B. Vorgabe einer Mindestsensitivität oder Vorgabe der verfügbaren Ressourcen). Alternativ dazu kann die Wahl des Arbeitspunktes als Optimierungsproblem aufgefasst werden, bei dem entweder ein Minimum an Kosten oder ein bestmögliches Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen für die Versorgung der Unfallopfer erzielt werden soll.

## Vorgaben an das Klassifikationsergebnis

Die Vorgabe einer Mindestsensitivität bzw. Mindestspezifität kann im ROC-Diagramm als eine Parallele zur Abszisse bzw. Ordinate eingezeichnet werden (Abb. 18). Der Schnittpunkt der Geraden mit der ROC-Kurve des ausgewählten Prognosemodells kennzeichnet den auszuwählenden Arbeitspunkt (Punkt A und B) des Modells.



**Abb. 18.** Bestimmung des Arbeitspunktes eines Prognosemodells für die Ableitung einer Dispositionsempfehlung

Steht ein beschränktes Budget  $C_{max}$  für die Versorgung der Unfallopfer zur Verfügung, lässt sich nach Gleichung 40 eine Gerade im ROC-Diagramm bestimmen, die alle Punkte, die mit dem vorgegebenen Budget realisiert werden können, miteinander verbindet. Dabei sei  $c_{RTW}$  der Kostensatz für den Einsatz eines Rettungsmittels ohne Notarzt und  $c_{NAW}$  der Kostensatz für den Einsatz eines Rettungsmittels mit Notarzt.<sup>47</sup> Für die Gesamtkosten gilt:

$$(TN + FN)c_{RTW} + (TP + FP)c_{NAW} = C_{max} \quad (36)$$

$$\text{mit } TN = N - FP \text{ und } FN = P - TP \quad (37)$$

$$\Rightarrow (P - TP + N - FP)c_{RTW} + (TP + FP)c_{NAW} = C_{max} \quad (38)$$

<sup>47</sup> Zur Vereinfachung wird nur von zwei Kostensätzen ausgegangen, die die durchschnittlichen Kostensätze repräsentieren sollen. In der Praxis stehen im Regelfall unterschiedliche Rettungsmittel bzw. Kombinationen von Rettungsmitteln (z.B. Rendez-vous System) mit und ohne Notarztbesetzung zur Verfügung, so dass auch unterschiedliche Kostensätze vorliegen.

$$\Rightarrow TP(c_{NAW} - c_{RTW}) + FP(c_{NAW} - c_{RTW}) = C_{max} \quad (39)$$

$$\Rightarrow \frac{TP}{P} = -\frac{N}{P} \cdot \frac{FP}{N} + \frac{C_{max}}{(c_{NAW} - c_{RTW})P} \quad (40)$$

$$\Rightarrow \frac{TP}{P} = a \cdot \frac{FP}{N} + b \text{ mit } a = -\frac{N}{P} \text{ und } b = \frac{C_{max}}{(c_{NAW} - c_{RTW})P} . \quad (41)$$

Die Steigung der Geraden  $a$  im ROC-Diagramm ist negativ und entspricht vom Betrag dem Verhältnis zwischen negativen und positiven Klassen, d.h. dem Verhältnis zwischen un- bzw. leichtverletzten und schwerverletzten Insassen bei allen Verkehrsunfällen, die gemäß der festgelegten Triggerschwelle zu einer automatischen Unfallmeldung führen. Die entsprechende Gerade mit dem Achsenabschnitt  $b$  ist in Abbildung 18 eingezeichnet. Aus ihrem Schnittpunkt mit der ROC-Kurve kann der Arbeitspunkt (Punkt C) des Modells abgelesen werden.

### Optimierungsansätze

In Kapitel 3.1.4 wurde bereits dargestellt, wie auf einer gegebenen ROC-Kurve der Arbeitspunkt bestimmt werden kann, der zu minimalen Fehlklassifikationskosten führt (vgl. Gl. 22 bis 26). Als Grundlage dafür musste ein Verhältnis zwischen falsch positiven und falsch negativen Fehlklassifikationskosten vorgegeben werden. Dieser Ansatz kann insbesondere dann eingesetzt werden, wenn eine Bewertung der unterschiedlichen Fehlerarten vorliegt. Sollen nicht nur die Kosten für Fehlklassifikationen, sondern auch die Kosten für richtige Klassifikationen berücksichtigt werden, ergibt sich analog des Ansatzes für Fehlklassifikationen im ROC-Diagramm eine Gerade gemäß Gleichung 45. Die Kostenkoeffizienten für alle Klassifikationsmöglichkeiten entsprechen den Angaben in der Klassifikationsmatrix (vgl. Abb. 19).

$$K = k_{TN}TN + k_{FN}FN + k_{TP}TP + k_{FP}FP \quad (42)$$

$$\Rightarrow K = TP(k_{TP} - k_{FN}) + FP(k_{FP} - k_{TN}) + N \cdot k_{TN} + P \cdot k_{FN} \quad (43)$$

$$\Rightarrow \frac{TP}{P} = \frac{k_{FP} - k_{TN}}{k_{FN} - k_{TP}} \cdot \frac{N}{P} \cdot \frac{FP}{N} + \frac{N \cdot k_{TN} + P \cdot k_{FN} - K}{P(k_{FN} - k_{TP})} \quad (44)$$

$$\Rightarrow \frac{TP}{P} = a \cdot \frac{FP}{N} + b \text{ mit } a = \frac{k_{FP} - k_{TN}}{k_{FN} - k_{TP}} \cdot \frac{N}{P} \text{ und } b = \frac{N \cdot k_{TN} + P \cdot k_{FN} - K}{P(k_{FN} - k_{TP})} . \quad (45)$$

Der kostenminimale Arbeitspunkt (Punkt D) des Modells ergibt sich wiederum am Tangentialpunkt der Geraden mit der Steigung  $a$  und der ROC-Kurve des Prognosemodells (vgl. Abb. 18). Mit den Kostenkoeffizienten für die einzelnen Klassifikationen können alle Kosten berücksichtigt werden, die für eine gewählte Perspektive relevant sind. Soll die Dispositionsentscheidung so gewählt werden, dass die Gesamtkosten aus volkswirt-

schaftlicher Perspektive minimal sind, müssen neben den Kosten für den Rettungsdienst auch die Kostendifferenzen berücksichtigt werden, die durch ein unterschiedliches Outcome der Verletzten infolge einer unterschiedlichen Behandlungsqualität (Notarzt versus Rettungssanitäter) entstehen.

In der Abbildung 19 sind die Kostenkoeffizienten unter der Annahme dargestellt, dass bei un- bzw. leichtverletzten Personen die unterschiedliche Behandlungsqualität (mit und ohne Notarzt) zu keinen Unterschieden im Outcome führt. Es wird davon ausgegangen, dass hingegen bei schwerverletzten Personen das Outcome bei einer Versorgung mit einem notarztbesetzten Rettungsmittel verbessert wird. Als Maß für das Outcome wird hier zur Vereinfachung nur die Letalität betrachtet. Der spezifische Erwartungswert  $\Delta c_{out}$  entspricht der Verringerung der Kosten aus volkswirtschaftlicher Perspektive durch eine Erhöhung der Überlebenswahrscheinlichkeit bei einer Erstversorgung durch einen Notarzt. Für den Kostenkoeffizienten gilt:  $k_{TP} = c_{NAW} - \Delta c_{out}$ .

		True Class	
		positive schwerverletzt	negative un-/leichtverletzt
Hypothesized Class (disponiertes Rettungsmittel)	positive Notarzt	TP $k_{TP} = c_{NAW} - \Delta c_{out}$	FP $k_{FP} = c_{NAW}$
	negative ohne Notarzt	FN $k_{FN} = c_{RTW} + c_{NAW}$	TN $k_{TN} = c_{RTW}$

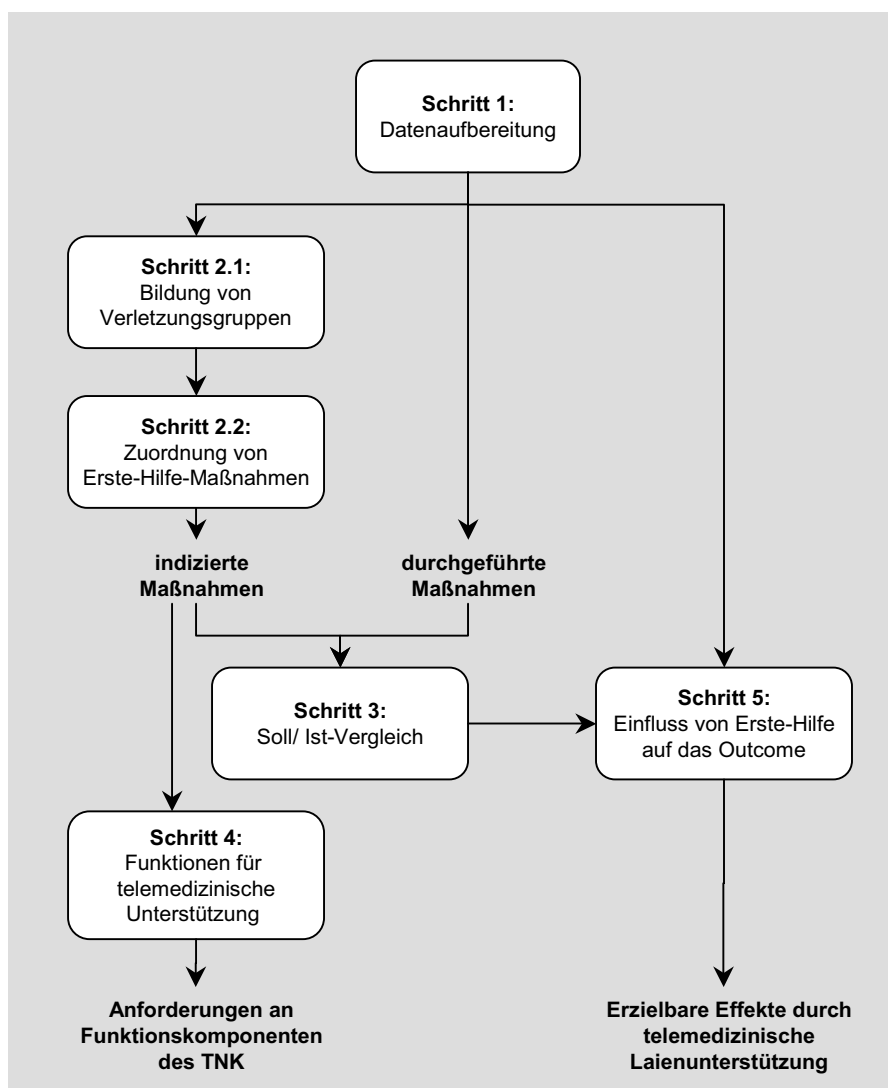
**Abb. 19.** Kostenkoeffizienten unter Berücksichtigung der Kosten aus volkswirtschaftlicher Perspektive

Nach einem analogen Ansatz kann auch der Nutzen aus einer höheren Versorgungsqualität (z.B. gewonnene Lebensjahre oder verbesserte Lebensqualität) berücksichtigt werden. Die Voraussetzung dafür ist allerdings eine monetäre Bewertung des Nutzens, die höchst problematisch ist. Aus diesem Grund wird hier auf die Einbeziehung des Nutzens verzichtet.

Wird auf der Grundlage der dargestellten Ansätze ein Arbeitspunkt im ROC-Diagramm für ein ausgewähltes Prognosemodell bestimmt, kann bei einem kontinuierlichen Modell (logistische Regression) der Klassifikationstrennwert so eingestellt werden, dass dieser Punkt statistisch erreicht wird. Bei diskreten Modellen müssen ggf. neue Klassifizierer erzeugt werden, die durch Änderung der Fehlklassifikationskosten beim Training der Modelle zu einem Klassifikationsergebnis führen, das dem ausgewählten Arbeitspunkt am nächsten kommt.

### 3.2 Untersuchung der Anforderungen zur telemedizinischen Unterstützung von Laien bei Erste-Hilfe-Maßnahmen

Der telemedizinische Notfallkoffer (TNK) soll zufällig am Unfallort anwesenden Laien eine Unterstützung bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen bieten. In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise zur Untersuchung der Anforderungen an die Funktionen des TNK und der erzielbaren Effekte durch eine telemedizinische Unterstützung von Laien dargestellt (Abb. 20).



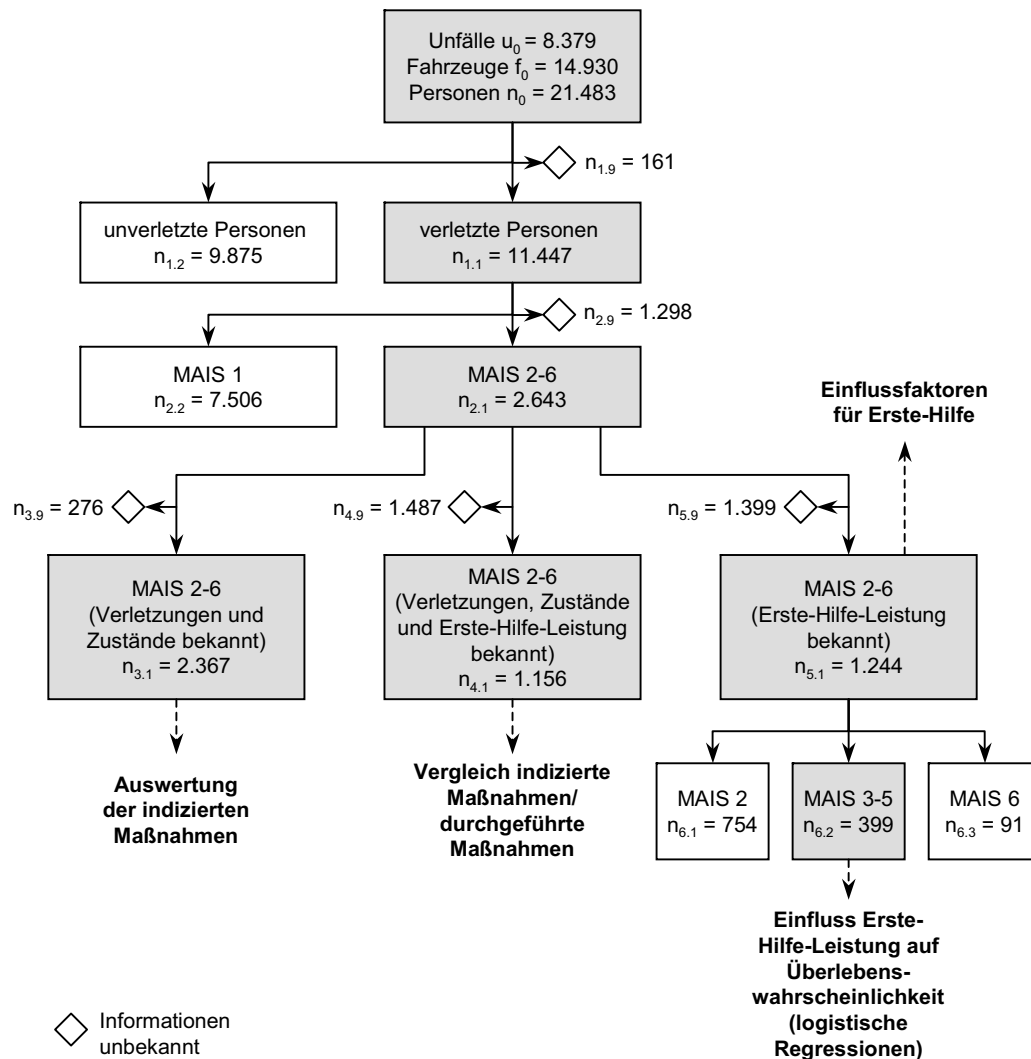
**Abb. 20.** Vorgehensweise zur Untersuchung der Anforderungen an die Funktionen eines telemedizinischen Notfallkoffers (TNK) und der erzielbaren Effekte durch eine telemedizinische Laienunterstützung

Die Unfalldatenbank GIDAS der Medizinischen Hochschule Hannover und der technischen Universität Dresden bildet die empirische Grundlage für die retrospektive Untersuchung (vgl. Kapitel 3.1.1.2). Die Datenbank enthält für jede im Erhebungsgebiet erfasste und bei einem Straßenverkehrsunfall verletzte Person detaillierte Informationen zur Person, zur Art und Stärke der Verletzungen, zum pathophysiologischen Zustand an der Unfallstelle, zu den Erste-Hilfe-Maßnahmen durch anwesende Laien sowie zum endgültigen Outcome (Letalität).

Im ersten Schritt erfolgt die Aufbereitung der zur Verfügung stehenden Daten für die folgenden Auswertungen (Kapitel 3.2.1). In der Datenbank sind die Verletzungen detailliert nach dem 7-stelligen AIS-Code (vgl. Kapitel 3.1.1.3) erfasst. Diese Verletzungen werden im zweiten Schritt zu Verletzungsgruppen so zusammengefasst (Schritt 2.1), dass die Verletzungen innerhalb einer Gruppe für Laien das gleiche Erscheinungsbild zeigen und durch gleiche Erste-Hilfe-Maßnahmen versorgt werden müssen. Anschließend werden für jede Gruppe von Verletzungen die erforderlichen Erste-Hilfe-Maßnahmen definiert und die Bedeutung der Maßnahmen für die Versorgung der Verletzung bewertet. Darauf aufbauend werden für jede verletzte Person die Maßnahmen bestimmt, die bei den vorliegenden Verletzungen indiziert sind (Schritt 2.2). Die Vorgehensweise wird im Kapitel 3.2.2 beschrieben. Anschließend werden die indizierten Maßnahmen den tatsächlich durchgeführten Maßnahmen gegenübergestellt, um daraus eine Bewertung des Status Quo der Erste-Hilfe-Leistung von Laien nach Straßenverkehrsunfällen abzuleiten (Schritt 3, Kapitel 3.2.3). Im vierten Schritt wird auf der Grundlage der Häufigkeit und Bedeutung der indizierten Maßnahmen die Relevanz der einzelnen möglichen Funktionen des TNK für die Versorgung von Personen nach Straßenverkehrsunfällen bestimmt. Daraus werden die Anforderungen an den Funktionsumfang des TNK abgeleitet (Kapitel 3.2.4). Abschließend wird im Kapitel 3.2.5 der Einfluss von telemedizinisch angeleiteten Erste-Hilfe-Maßnahmen auf die Überlebenschance untersucht (Schritt 5), um die erzielbare Wirkung der Anleitung abschätzen zu können.

### 3.2.1 Datenaufbereitung

Für die Untersuchung werden aus der GIDAS-Datenbank die Variablen ausgewertet, die die Verletzungen und den pathophysiologischen Zustand einer Person an der Unfallstelle, die Merkmale der Person selbst (Alter und Geschlecht), die Erste-Hilfe-Maßnahmen durch zufällig anwesende Unfallzeugen und die Letalität beschreiben. Die Version der GIDAS-Datenbank, die für diese Auswertung zur Verfügung steht, entspricht nicht der Version<sup>48</sup>, die für die Auswertungen zur Prognose der Verletzungsintensität genutzt wurde (vgl. Kapitel 3.1). Die Abbildung 21 zeigt den Ablauf zur Aufbereitung der Daten.



**Abb. 21.** Ablauf zur Aufbereitung der Daten für die Auswertung der Verletzungen und Erste-Hilfe-Maßnahmen in der GIDAS-Datenbank

Zunächst werden aus der Datenbank alle Personen herausgefiltert, für die der Verletzungsschweregrad unbekannt ist, die keine Verletzungen oder nur eine leichte Verletzung mit dem Gesamtschweregrad MAIS 1 erlitten haben. Diese Personen werden für die Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen nicht betrachtet. Aus den verbleibenden Daten werden drei nicht disjunkte Mengen gebildet, die für die unterschiedlichen Auswertungen genutzt werden. Die Menge 3.1 enthält alle Personen mit einem Verletzungsschweregrad von MAIS 2 bis 6, für die Informationen über die Art der Verletzungen und den pathophysiologischen Zustand vorliegen. Diese Menge wird genutzt, um die

<sup>48</sup> Die Auswertung der Verletzungen und der pathophysiologischen Zustände basiert auf einer Version der GIDAS-Datenbank vom 21.3.2004.



indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen zu bestimmen. Die Menge 4.1 ist eine Teilmenge der Menge 3.1 und enthält nur die Personen, für die zusätzlich Informationen über die Erste-Hilfe-Leistung von Laien bekannt sind. An den Personen dieser Menge kann der Vergleich der indizierten mit den durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen erfolgen. Die Menge 5.1 enthält alle Personen, für die mindestens die Erste-Hilfe-Maßnahmen bekannt sind. Sie wird zur Grundlage für die Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Erste-Hilfe-Leistung von Laien. Aus dieser Menge werden die Personen mit einem Verletzungsschweregrad von MAIS 3 bis 5 ausgewählt (Menge 6.2), um daran den Einfluss der Erste-Hilfe-Leistung von Laien auf die Überlebenswahrscheinlichkeit zu untersuchen. Für die Filterung der Daten wurde das Eliminationsverfahren genutzt, d.h. alle Fälle mit fehlenden Werten für die betrachteten Variablen wurden entfernt, da alternative Verfahren, die auf Parameterschätzungen oder Imputationen beruhen, für die Untersuchung ungeeignet sind.

### **3.2.2 Bestimmung der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen**

Zur Ermittlung der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen werden zunächst die einzelnen in der Datenbank erfassten Verletzungen zu Gruppen zusammengefasst und die pathophysiologischen Zustände der verletzten Personen ausgewertet. Anschließend werden für jede Person nach einer festgelegten Zuordnungssystematik die indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen bestimmt und die Bedeutung der Maßnahmen für die Versorgung der Person abgeschätzt.

Die einzelnen Verletzungen werden in der GIDAS-Datenbank nach dem 7-stelligen AIS-Code erfasst. Die erste Stelle des Codes kennzeichnet die Körperregion<sup>49</sup>, die zweite Stelle den Typ der anatomischen Struktur der Verletzung<sup>50</sup>, die dritte und vierte Stelle die spezifische anatomische Struktur<sup>51</sup> und die fünfte und sechste Stelle die spezifische Verletzung. Die siebte Stelle gibt den AIS-Schweregrad der Verletzung an [AAAM1998].

Die Gruppierung der Verletzungen wird so durchgeführt, dass die Verletzungen innerhalb einer Gruppe für Laien das gleiche Erscheinungsbild zeigen und durch gleiche Erste-Hilfe-Maßnahmen versorgt werden müssen. Für die Gruppierung wird

---

<sup>49</sup> AIS-Code „Körperregion“ (1. Stelle): 1 - Kopf, 2 - Gesicht, 3 - Hals, 4 - Thorax, 5 - Abdomen, 6 - Wirbelsäule, 7 - obere Extremitäten, 8 - untere Extremitäten, 9 - nicht spezifiziert

<sup>50</sup> AIS-Code „Typ der anatomischen Struktur“ (2. Stelle): 1 - whole area, 2 - vessels, 3 - nerves, 4 - organs, 5 - skeletal, 6 - head loc

<sup>51</sup> AIS-Code „spezifische anatomische Struktur“ (3. und 4. Stelle): z.B. Skin, abrasion, crush

zunächst der hierarchische Aufbau des AIS-Codes genutzt und es werden in einer ersten Stufe die Verletzungen nach den ersten vier Stellen des Codes zusammengefasst. Es ergeben sich 287 Verletzungsgruppen. In einer zweiten Stufe werden die Verletzungsgruppen nach den ersten vier Stellen aus inhaltlichen Gesichtspunkten zu 22 Verletzungsgruppen weiter verdichtet (Tab. 12).

**Tabelle 12.** Verletzungsgruppen

Gruppen ID	Verletzungsgruppe	Gruppen ID	Verletzungsgruppe
120	äußere Kopfverletzung	720	Haut- und Weichteilverletzung Arm
121	Schädel-Hirn-Verletzung	721	knöchernen Verletzung Arm
122	Gehirnerschütterung	722	massive Armverletzung
123	Bewusstseinsstörung (SHT)	820	Haut- und Weichteilverletzung Bein
220	Gesichtsverletzung	821	knöchernen Verletzung Bein
320	äußere Halsverletzung	822	Fraktur Becken
321	innere Halsverletzung	823	massive Beinverletzung, Amputation
420	äußere Brustkorbverletzung	920	Hautverletzung allgemein
421	innere Brustkorbverletzung	921	Verbrennungen
520	äußere Bauchverletzung	922	sonstige unbehandelbare Verletzungen
521	innere Bauchverletzung		
620	Verletzung der WS oder peripherer Nervenbahnen		

Für die Ermittlung der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen ist neben den anatomischen Verletzungen auch der pathophysiologische Zustand der Personen an der Unfallstelle von Bedeutung. Im Gegensatz zu den anatomischen Verletzungen, die mit dem AIS-Code erfasst werden, wird der pathophysiologische Zustand vom zeitlichen Verlauf und durch präklinische Interventionen beeinflusst. Als Grundlage für die Ableitung der indizierten Maßnahmen wird der pathophysiologische Zustand zum Zeitpunkt des Eintreffens der Rettungskräfte an der Unfallstelle genutzt, der in der GIDAS-Datenbank erfasst wurde. Die ausgewerteten Informationen zu den pathophysiologischen Zuständen sind in Tabelle 13 dargestellt.

**Tabelle 13.** Pathophysiologische Zustände

ID	pathophysiologischer Zustand
1001	Bewusstseinsstörung (leichtes/ mittelschweres SHT nach GCS)
1002	Bewusstseinsstörung (schweres/ schwerstes SHT nach GCS)
1003	Bewusstlosigkeit
1004	Atemstörung
1005	Atemstillstand
1006	Kreislaufstörung
1007	Herz-Kreislaufversagen
1008	Schockgefahr (MAIS 3 plus)
1009	Schock

*Der Zustand Schockgefahr wird einer Person zugeordnet, wenn ein Verletzungsschweregrad größer MAIS 3 vorliegt.*

Tabelle 14 enthält einen Katalog von Erste-Hilfe-Maßnahmen, die von Laien bei traumatischen Verletzungen erforderlich sein können und in Erste-Hilfe-Lehrgängen unterrichtet werden. Bei den Maßnahmen wird zwischen Diagnose- und Therapie-Maßnahmen unterschieden, wobei die Therapie-Maßnahmen in Maßnahmen zum Erhalt der Vitalfunktionen, Maßnahmen zur Wundversorgung und Maßnahmen zur Lagerung unterteilt sind.

**Tabelle 14.** Katalog der Erste-Hilfe-Maßnahmen

<b>Diagnose-Maßnahmen</b>			
M01	Schockzeichen prüfen		
M02	Vitalfunktionen überwachen		
<b>Therapie-Maßnahmen</b>			
M03	Atemwege freimachen		
M04	CPR		
<b>Therapie-Maßnahmen (Wundversorgung)</b>			
M05	Wundverband Arm	M11	Bein hoch lagern
M06	Wundverband Bein	M12	Arm hoch lagern
M07	Wundverband Kopf	M13	Rumpf fixieren (Schienen)
M08	Wundverband Rumpf	M14	Bein fixieren (Schienen)
M09	Amputat sichern	M15	Arm fixieren (Schienen)
M10	Brandverletzungen versorgen	M16	Wärmeerhaltung
<b>Therapie-Maßnahmen (Lagerung)</b>			
M17	Stabile Seitenlage mit beinseitiger Erhöhung	M22	Lagerung mit erhöhtem Oberkörper
M18	Stabile Seitenlage mit kopfseitiger Erhöhung	M23	Rückenlage mit Knierolle
M19	Stabile Seitenlage	M24	Rückenlage (Flachlagerung)
M20	bestehende Lagerung nicht verändern	M25	Person sitzend lagern
M21	Schocklage	M26	beliebige Lagerung, nicht stehend

kumulative  
Maßnahmen

alternative  
Maßnahmen

Um für jede Person in der Datenbank (Menge 3.1), für die sowohl die Verletzungen als auch die pathophysiologischen Zustände bekannt sind, die indizierten Maßnahmen

zu bestimmen, wird eine Zuordnungsmatrix gemäß Abbildung 22 in Zusammenarbeit und Abstimmung mit mehreren Ärzten und Notärzten erstellt. Die Matrix enthält in den Spalten die Maßnahmen des Maßnahmenkataloges und in den Zeilen die Verletzungsgruppen und pathophysiologischen Zustände. Für jede Verletzungsgruppe sind in der Matrix zwei Zeilen enthalten, die jeweils einen unterschiedlichen Verletzungsschweregrad (leicht (L): AIS 1 bis 2 und schwer (H): AIS 3 bis 5) repräsentieren.

		Maßnahmen (kumulativ)					Maßnahmen (alternativ)		
		Schockzeichen prüfen	Atemwege freimachen	CPR	Wundverband Bein	..	Stabile Seitenlage	Schocklage	Rückenlage
		2: lebensrettend 1: wichtig leer: nicht erforderlich							
pathophysiologische Zustände	Herz-Kreislauf- Versagen		2	2					
	Bewusstlosigkeit	2	2				2		
	Schockgefahr	1						1	
	Schock	2						2	
	Atemstörung		1						
	...								
Verletzungsgruppen	äußere Kopfverletzung	L 1 H 2							
	Haut-/Weichteil-Verletzung Bein	L 1 H 2			1 2			2	1
	Fraktur Becken	L 1 H 2						1 2	
	...	---	---	---	---	---	---	---	---

**Abb. 22.** Zuordnungsmatrix zur Bestimmung der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen (beispielhafte Darstellung, Auszug)

In den Zellen der Matrix ist die Bedeutung einer Maßnahme für eine Verletzungsgruppe bzw. einen pathophysiologischen Zustand festgelegt (2: lebensrettend; 1: wichtig; leer: nicht erforderlich). Mit der Zuordnungsmatrix können für jede Verletzung bzw. jeden pathophysiologischen Zustand die indizierten Maßnahmen und ihre Bedeutung für die Versorgung ermittelt werden. Weist eine Person mehrere Verletzungen unterschiedlicher Gruppen bzw. pathophysiologischen Zustände auf, kann die Anwendung der Zuordnungsmatrix zu einer Kombination von Maßnahmen führen, die sich gegenseitig ausschließen. Zur Lösung des Problems werden diese in kumulative und alternative Maßnahmen unterteilt. Kumulative Maßnahmen können parallel mit anderen durchgeführt werden. Alternative Maßnahmen können nicht miteinander kombiniert werden (eine Person kann beispielsweise nicht in der stabilen Seitenlage und gleichzeitig in der Rückenlage gelagert werden). Die Entscheidung, welche der indizierten alternativen Maßnahmen gemäß der Zuordnungsmatrix durchgeführt werden soll, wird über die folgenden Regeln getroffen:

1. Entscheidung für die Maßnahme mit der höchsten Bewertung (lebensrettend vor wichtig).
2. Falls mit Regel 1 keine eindeutige Entscheidung für eine Maßnahme getroffen werden kann, wird von den Maßnahmen mit der höchsten Bewertung diejenige ausgewählt, die aufgrund der schwersten Verletzung (nach AIS-Skala) bzw. des pathophysiologischen Zustandes mit der höchsten vitalen Gefährdung indiziert ist.
3. Falls mit Regel 1 und 2 keine eindeutige Entscheidung für eine Maßnahme getroffen werden kann, wird eine eindeutige Entscheidung über eine festgelegte Rangfolge der alternativen Maßnahmen getroffen.

Mit Hilfe der Zuordnungsmatrix und den beschriebenen Regeln werden für jede verletzte Person die indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen bestimmt. Anschließend werden die Häufigkeit und die Bedeutung der einzelnen Maßnahmen für die untersuchte Stichprobe berechnet.

### 3.2.3 Vergleich zwischen indizierten und durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen

Die Gegenüberstellung der indizierten mit den von Unfallzeugen durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen kann nur für die Maßnahmen erfolgen, die in der GIDAS-Datenbank erfasst wurden. In der GIDAS-Datenbank werden folgende auswertbare Maßnahmen durch Erst-Helfer erfasst: *Atemwege freimachen*, *CPR*, *Verband anlegen*, *Schienung/ Reposition*, *stabile Seitenlage*, *Rückenlage* und *sitzende Lagerung*. Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, werden die Maßnahmen gemäß des Maßnahmenkataloges (Tab. 14) so zusammengefasst, dass sie den in der GIDAS-Datenbank definierten Maßnahmen entsprechen (Tab. 15).

**Tabelle 15.** Zusammenfassung der Maßnahmen zum Vergleich indiziert/ durchgeführt

GIDAS-Definition	Definitionen Maßnahmenkatalog
Atemwege freimachen	Atemwege freimachen
CPR	CPR
Verband anlegen	Wundverband Arm, Wundverband Bein, Wundverband Kopf, Wundverband Rumpf, Brandverletzung versorgen
Schienung/ Reposition	Rumpf fixieren, Arm fixieren, Bein fixieren
stabile Seitenlage	stabile Seitenlage mit beinseitiger Erhöhung, stabile Seitenlage mit kopfseitiger Erhöhung, stabile Seitenlage
Rückenlage	Rückenlage mit Knierolle, Rückenlage (Flachlagerung)
sitzende Lagerung	Person sitzend lagern

Für die Gegenüberstellung werden alle Personen aus der Menge 4.1 betrachtet, bei denen ein Erst-Helfer anwesend war und mindestens eine Erste-Hilfe-Maßnahme (ggf. auch eine nicht weiter spezifizierte Maßnahme) durchgeführt hat.

### **3.2.4 Ermittlung der Relevanz einzelner Funktionen einer telemedizinischen Unterstützung**

Über den telemedizinischen Notfallkoffer (TNK) sollen zufällig am Unfallort anwesende Laien bei der Durchführung der Erste-Hilfe-Maßnahmen angeleitet werden. Für jede Maßnahme wird untersucht, mit welchen Grundfunktionen ein Laie bei der Erkennung der Indikation und bei der Durchführung der Maßnahme unterstützt werden kann. Die Relevanz der einzelnen Funktionen wird anschließend aus der Indikationshäufigkeit der einzelnen Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen bestimmt, die auf der Grundlage der GIDAS-Datenbank ermittelt wurde. In Zusammenarbeit mit einem Arzt/ Notarzt wurden folgende mögliche Grundfunktionen des TNK definiert:

- Audiokommunikation: Audiokommunikation zwischen Erst-Helfer und medizinischem Call Center über ein kabelloses Headset
- Videobilder: Übertragung von Videobildern einer kabellosen Head-Mounted-Camera von der Unfallstelle an das telemedizinische Call Center in Echtzeit
- Standbilder: Übertragung von Digitalfotos von der Unfallstelle an das telemedizinische Call Center
- Bildhafte Anleitung: Darstellung von schematischen Bildern auf dem Display des TNK zur Anleitung der Laien bei der Durchführung der Maßnahmen; die darzustellenden Bilder können vom telemedizinischen Call Center ausgewählt und eingeblendet werden
- akustische Anleitung: Anleitung der Erst-Helfer bei einzelnen Aktivitäten durch vordefinierte gesprochene Sequenzen, die im TNK gespeichert sind; die einzelnen Sequenzen können vom medizinischen Call Center gestartet werden
- Herzrate (HR): Elektronische Messung der Herzrate mit Anzeige des Wertes auf dem Display des TNK und Übertragung der Daten in Echtzeit an das medizinische Call Center
- Blutdruck-Sensor: Blutdruckmanschette zur elektronischen Blutdruckmessung; Anzeige der Werte auf dem Display des TNK und Übertragung der Daten in Echtzeit an das medizinische Call Center
- SPO<sub>2</sub>: Messung der Blutsauerstoffsättigung über einen SPO<sub>2</sub>-Sensor (Finger- oder Ohrklippsensor) mit Anzeige des Sättigungswertes auf dem Display des

TNK und Übertragung der Daten in Echtzeit an das medizinische Call Center

- Puls: Pulsmessung über einen SPO<sub>2</sub>-Sensor (Finger- oder Ohrklippsensor) mit Pulsanzeige auf dem Display des TNK und Übertragung der Daten in Echtzeit an das medizinische Call Center
- EKG: 1-Kanal EKG mit Anzeige der Herzrate auf dem Display des TNK und Übertragung der Daten in Echtzeit an das medizinische Call Center
- Automatisch Externer Defibrillator (AED): Anzeige der Indikation einer Defibrillation am TNK sowie Übertragung aller relevanten Daten an das medizinische Call Center.

Die Bedeutung der einzelnen Grundfunktionen zur Unterstützung von Laien wird gemäß der Matrix in Tabelle 16 in Abstimmung mit einem Arzt/ Notarzt bewertet. Dabei wird berücksichtigt, wie wichtig eine Funktion auf einer Skala von 0 bis 3 (0: nicht erforderlich, 1: hilfreich, 2: wichtig oder 3: sehr wichtig) für die Erkennung der Indikation einer Maßnahme (I) und für die anschließende Durchführung der Maßnahme (D) ist. Als Gesamtbewertung (G) einer Funktion wird die maximale Bewertung aus den beiden Bewertungen ausgewählt.

Für jede in der GIDAS-Datenbank erfasste Person (Menge 3.1) wird retrospektiv auf der Grundlage der ermittelten Indikationen der einzelnen Erste-Hilfe-Maßnahmen bestimmt, welche Funktionen des TNK für die Unterstützung eines Erst-Helfers bei der Versorgung der Person erforderlich gewesen wären und welche Bedeutung die einzelnen Funktionen dabei gehabt hätten. Die Verbindung zwischen erforderlichen Maßnahmen und Funktionen des TNK wird über die Matrix gemäß Tabelle 16 hergestellt. Mit dieser Auswertung wird ermittelt, bei welchem Anteil der verletzten Personen eine Funktion des TNK nicht erforderlich, hilfreich, wichtig oder sehr wichtig für eine Laienunterstützung gewesen wäre. Es wird jeweils eine Auswertung unter Berücksichtigung aller indizierten Maßnahmen und eine Auswertung unter Berücksichtigung nur der lebensrettenden Maßnahmen durchgeführt.

**Tabelle 16.** Bewertung der Bedeutung der TNK-Funktionen zur Unterstützung der Erste-Hilfe-Maßnahmen (Auszug)

Maßnahmen	Audiokommunikation			Video-konferenz			Stand-bilder			bildhafte Anteilung			akustische Anleitung		
	I	D	G	I	D	G	I	D	G	I	D	G	I	D	G
Schockzeichen prüfen	3	3	3	2	2	2	2	0	2	0	2	2	2	2	2
Vitalfunktionen überwachen	3	3	3	2	2	2	2	0	2	0	2	2	2	2	2
Atemwege freimachen	3	3	3	2	2	2	2	0	2	0	3	3	2	2	2
CPR	3	3	3	2	2	2	2	0	2	0	3	3	2	3	3
Wundverband Arm	2	2	2	2	1	2	2	1	2	0	1	1	1	1	1
Wundverband Bein	2	2	2	2	1	2	2	1	2	0	1	1	1	1	1
Wundverband Kopf	2	2	2	2	1	2	2	1	2	0	1	1	1	1	1
Wundverband Rumpf	2	2	2	2	1	2	2	1	2	0	1	1	1	1	1
Amputat sichern	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Brandverletzungen versorgen	2	2	2	2	1	2	2	1	2	0	1	1	1	1	1
Bein hoch lagern	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Arm hoch lagern	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Rumpf fixieren (Schienen)	2	2	2	3	2	3	2	1	2	0	1	1	1	1	1
Bein fixieren (Schienen)	2	2	2	2	1	2	2	1	2	0	1	1	1	1	1
Arm fixieren (Schienen)	2	2	2	2	1	2	2	1	2	0	1	1	1	1	1
Wärmeerhaltung	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Stabile Seitenlage (beinseitige Erhöhung)	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	3	3	2	2	2
Stabile Seitenlage (kopfseitige Erhöhung)	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	3	3	2	2	2
Stabile Seitenlage	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	3	3	2	2	2
bestehende Lagerung nicht verändern	2	2	2	3	0	3	2	0	2	0	0	0	0	0	0
Schocklage	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	3	3	2	2	2
Lagerung mit erhöhtem Oberkörper	2	2	2	2	1	2	2	1	2	0	1	1	2	1	2
Rückenlage mit Knierolle	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	2	2	2	1	2
Rückenlage (Flachlagerung)	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1	2
Person sitzend lagern	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1
beliebige Lagerung, nicht stehend	2	2	2	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0

*Bewertung der Funktionen des TNK für die Erkennung der Indikation (I) und die Durchführung (D) einer Maßnahme sowie Gesamtbewertung (G); Bewertungsskala: (0) Funktion nicht erforderlich; (1) Funktion hilfreich; (2) Funktion wichtig; (3) Funktion sehr wichtig*

### 3.2.5 Untersuchung der Effekte der Laienhilfe

Als Grundlage für die Abschätzung der erzielbaren Effekte einer telemedizinischen Unterstützung von Laien wurden bereits im Rahmen der Voruntersuchung die Einflussfaktoren (z.B. Erste-Hilfe-Kompetenz, Angst vor Fehlern) auf die Bereitschaft von potentiellen Erst-Helfern zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen untersucht. Dabei wurden die wesentlichen Einflussfaktoren in einer Befragung aus der Selbsteinschätzung von potentiellen Helfern erhoben und in eine multivariaten Analyse einbezogen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Bereitschaft von Laien zur Durchführung von Erste-Hilfe-Leistungen und die Qualität der Maßnahmen durch eine telemedizinische Unterstützung deutlich gesteigert werden können.



Es stellt sich nun die Frage, welcher Effekt auf das Outcome der verletzten Personen durch diese Steigerung erzielbar ist. In der Literaturanalyse wurden in Bezug auf traumatische Verletzungen keine Studien zu dieser Fragestellung gefunden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird auf der empirischen Grundlage der GIDAS-Datenbank eine retrospektive Untersuchung des Einflusses von Erste-Hilfe-Leistungen durch Erst-Helfer auf die Überlebenswahrscheinlichkeit durchgeführt. Dabei wird nur betrachtet, ob zur Versorgung der Verletzten ein Erst-Helfer aktiv war und Maßnahmen durchgeführt hat.<sup>52</sup> Es kann nicht bewertet werden, ob die Erste-Hilfe-Maßnahmen indiziert waren und in ausreichender Qualität durchgeführt wurden. Zur Analyse des Einflusses der Qualität der Maßnahmen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit müssten qualitative Bewertungen der durchgeführten Maßnahmen vorliegen, die in den zur Verfügung stehenden Datenbanken jedoch nicht enthalten sind, so dass hierzu keine Aussage getroffen werden kann.

In die Untersuchung werden aus der GIDAS-Datenbank allen Personen einbezogen, für die bekannt ist, ob an der Unfallstelle Erste-Hilfe-Maßnahmen von Laien erbracht wurden und deren Verletzungsschweregrad zwischen MAIS 3 und 5 liegt (vgl. Kapitel 3.2.1, Menge 6.2). Diese Teilgruppe wird gebildet, da nur in dieser Gruppe ein Einfluss der Erste-Hilfe-Leistung auf die Letalität zu erwarten ist. Personen mit einem Verletzungsschweregrad von MAIS 2 weisen statistisch eine Letalitätsrate von nur 0,07% auf, so dass eine Änderung nicht nachweisbar sein wird [Kramer1998]. Bei einem Verletzungsschweregrad von MAIS 6 besteht definitionsgemäß keine Überlebenschance. Als Kontrollvariablen werden für die Analyse die Variablen gemäß Tabelle 17 einbezogen (vgl. [Schwermann2003]). Die Variablen *Tod*, *Erste-Hilfe*, *Geschlecht*, *Polytrauma* und *GCS (gruppiert)*<sup>53</sup> weisen ein nominal binäres Skalenniveau auf und sind dichotom kodiert. Die Variablen *Alter*, *Alter<sup>2</sup>*, *ISS* sowie *therapiefreies Intervall* sind metrisch skaliert. Die Variablen *MAIS* und *GCS* können aufgrund ihres Wertebereiches und der Erhebungsmethodik nur als ordinal skalierte Größen interpretiert werden.

Zunächst wird der bivariate Zusammenhang zwischen der Testvariablen bzw. den Kontrollvariablen und der Überlebenswahrscheinlichkeit untersucht. Um für alle Variablen ein vergleichbares Maß für die Korrelation zu erhalten, wird der Korrelationskoeffizient nach *Spearman Rho* für ein ordinales Skalenniveau eingesetzt. Das Signifikanzniveau wird auf  $\alpha = 0,01$  bzw.  $\alpha = 0,05$  festgelegt. Anschließend wird eine multivariate Analyse auf Basis der logistischen Regression durchgeführt.

---

<sup>52</sup> Die Beruhigung von Unfallopfern durch Erst-Helfer wird bei dieser Auswertung nicht als Erste-Hilfe-Maßnahme gewertet.

<sup>53</sup> Der GCS-Wert wird in zwei Gruppen (3-11 und 12-15) eingeteilt.

**Tabelle 17.** Variablen für die Analyse des Einflusses von Erste-Hilfe-Leistungen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit

Variablentyp	Variable	Skalenniveau	Ausprägungen
abhängige Variable	Tod	nominal binär	verstorben (1); nicht verstorben (0)
Testvariable	Erste-Hilfe	nominal binär	ja (1); nein (0)
Kontrollvariablen	Geschlecht	nominal binär	weiblich (1); männlich (0)
	Alter	metrisch	[Jahre <sup>2</sup> ]
	Alter <sup>2</sup>	metrisch	[Jahre]
	MAIS	ordinal	3 bis 5
	ISS	metrisch	9 bis 75
	Polytrauma	nominal binär	ja (1); nein (0)
	GCS	ordinal	3 bis 15
	GCS (gruppiert)	nominal binär	GCS 12-15 (1); GCS 3-11 (0)
	therapiefreies Intervall	metrisch	[Minuten]

Bei der Untersuchung wurde die Leistung der Erst-Helfer allgemein betrachtet. Es konnte nicht berücksichtigt werden, ob tatsächlich die Maßnahmen durchgeführt wurden, die indiziert waren. Um diesen Aspekt dennoch einzubeziehen, wird für die einzelnen in der GIDAS-Datenbank erfassten Maßnahmen ein Letalitätsvergleich zwischen zwei Personengruppen durchgeführt. Die erste Gruppe umfasst die Personen, bei denen die indizierten Maßnahmen von einem Erst-Helfer durchgeführt wurden. Bei den Personen der zweiten Gruppe wurden die indizierten Maßnahmen nicht durchgeführt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Modelle zur telematischen Prognose der Verletzungsintensität

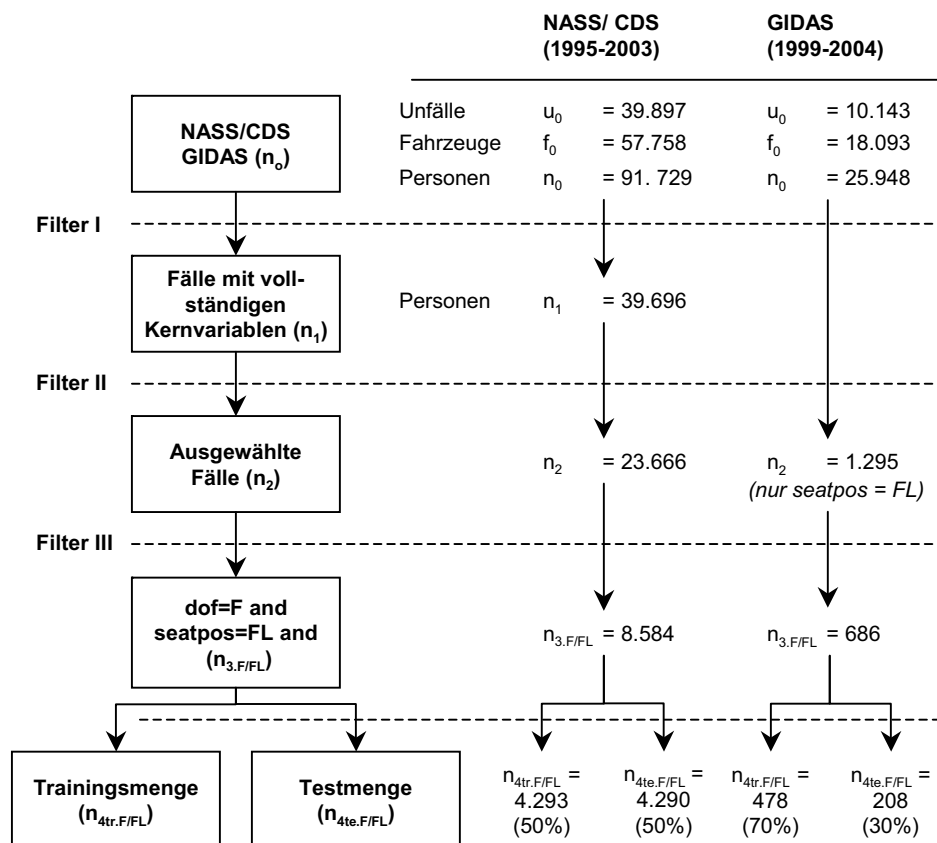
Im Rahmen dieser Arbeit wurden auf der Basis der amerikanischen Unfalldatenbank NASS/CDS und der deutschen Unfalldatenbank GIDAS mehrere Modelle für die telematische Prognose der Verletzungsintensität von Fahrzeuginsassen bei Verkehrsunfällen spezifiziert und getestet. Die daraus gewonnenen Ergebnisse sollen die Grundlage für die Entwicklung eines Prognosesystems bilden, das mit Informationen über den Unfallhergang, das Fahrzeug und ggf. die Insassen eine Vorhersage treffen kann, ob ein Fahrzeuginsasse nach einem Verkehrsunfall un- bzw. leichtverletzt oder schwerverletzt ist. Die Vorhersage soll die automatische Unfallmeldung ergänzen und eine direkte Disposition der Rettungsmittel ohne ein Gespräch mit den Fahrzeuginsassen oder Unfallzeugen ermöglichen.

In Kapitel 4.1.1 werden die Ergebnisse der Datenaufbereitung dargestellt. Die Bedeutung einzelner Eingangsgrößen für die Prognose der Verletzungsintensität wurde durch eine bivariate Analyse des Zusammenhangs untersucht und ist Gegenstand des Kapitels 4.1.2. In den folgenden Kapiteln 4.1.3 und 4.1.4 werden die Prognosemodelle vorgestellt, die mit der logistischen Regression und der Entscheidungsbauminduktion auf Basis der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank entwickelt wurden. An der Trainings- und der Testmenge wird die Prognosegüte der Modelle bestimmt. Anschließend wird in Kapitel 4.1.5 ein Vergleich der Verfahren durchgeführt. In Kapitel 4.1.6 werden beispielhaft für definierte Rahmenbedingungen Arbeitspunkte der Prognosemodelle zur Ableitung einer Dispositionsempfehlung ausgewählt und das erzielbare Sensitivitäts-Spezifitäts-Verhältnis ermittelt.

#### 4.1.1 Datenaufbereitung

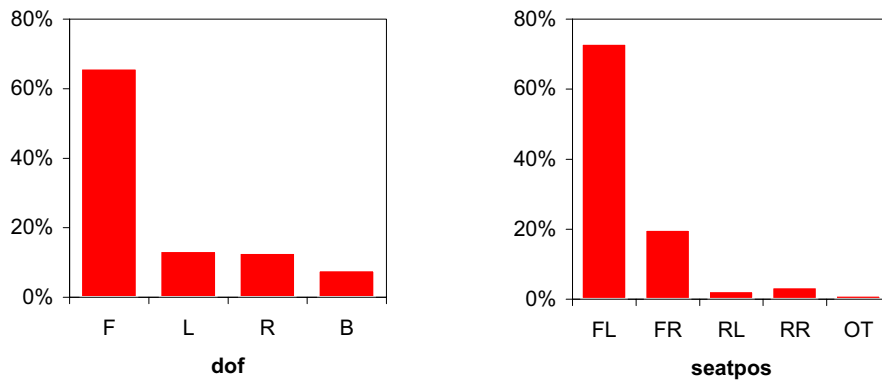
Die NASS/CDS-Datenbank umfasst für die Jahre 1995 bis 2003 insgesamt  $u_0 = 39.897$  Verkehrsunfälle mit  $f_0 = 57.758$  Fahrzeugen und  $n_0 = 91.729$  involvierten Personen (vgl. Abb. 23). Die Daten wurden aus den Records der Datenbank so zusammengestellt, dass jeder Fall (jede Zeile in der Auswertungstabelle) einen Fahrzeuginsassen mit den entsprechenden Variablen gemäß Tabelle 8 zum Fahrzeug, zum Crashverlauf und zur Person sowie zu den Nutzungsmerkmalen repräsentiert. Nach der Eliminierung aller Fälle ohne vollständige Kernvariablen (Filter I, vgl. Kapitel 3.1.2) verbleiben  $n_1 = 39.696$  Personen in der Auswertungstabelle. Der größte Anteil der Fälle,

die aus der Tabelle eliminiert wurden, weist fehlende Werte in den Variablen *mais3p* ( $\Delta=8.125$ ) und *dvttotal* ( $\Delta=38.212$ ) auf. Aus den in den Kernvariablen vollständigen Fällen wurden gemäß Filter II die Fälle ausgewählt, die für eine automatische Prognose der Verletzungsintensität relevant sind. Damit verbleiben  $n_2 = 15.859$  Fahrzeuginsassen, die für die Spezifikation und den Test der Prognosemodelle genutzt werden konnten.



**Abb. 23.** Aufbereitung der Daten der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank

Im Rahmen dieser Arbeit wurden für die Spezifikation der Modelle ausschließlich die Insassen in der Fahrerposition bei Frontalkollisionen betrachtet, so dass sich bei der Verteilung der Aufprallarten und der Sitzpositionen gemäß Abbildung 24 die einzubeziehenden Fälle auf  $n_{3,F/FL}=8.584$  Insassen reduzierten. Da die Anzahl der Fälle für die Spezifikation der Modelle noch hinreichend groß war, wurde die Menge in zwei gleich große Trainings- und Testmengen mit  $n_{4tr,F/FL}=4.293$  und  $n_{4te,F/FL}=4.290$  Fällen aufgeteilt.



**Abb. 24.** Verteilung der Aufprallarten (dof: F - frontal, L - left, R - right, B - rear) und Sitzpositionen (seatpos: FL - driver, FR - passenger, RL - rear left, RR - rear right) in der NASS/CDS-Datenbank (nach Filter II)

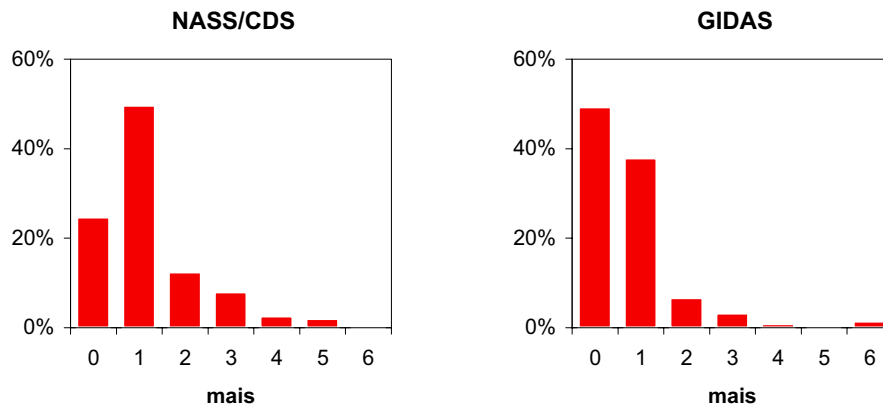
Die GIDAS-Datenbank enthält in der Zeit von 1999 bis 2004 insgesamt  $u_0 = 10.143$  Verkehrsunfälle mit  $f_0 = 18.093$  erfassten Fahrzeugen sowie  $n_0 = 25.948$  involvierten Personen.<sup>54</sup> Da die GIDAS-Datenbank nicht vollständig, sondern nur mit den ausgewählten Fällen gemäß Filter I und II zur Verfügung stand, ist die Anzahl der Fälle mit vollständigen Kernvariablen jedoch ohne die Anwendung von Filter II unbekannt. Für die Sitzposition „Fahrer“ stehen nach Anwendung von Filter I und II insgesamt  $n_{3,F/FL} = 1.295$  Fälle zur Verfügung. Auf Frontalkollisionen mit Sitzposition „Fahrer“ entfallen  $n_{3,F/FL} = 686$  Personen, die für die Spezifikation und den Test der Modelle genutzt werden konnten. Aufgrund der geringen Fallzahl erfolgte die Aufteilung in die Trainings- und die Testmenge im Verhältnis 70% ( $n_{4tr,F/FL} = 478$  Fälle) zu 30% ( $n_{4te,F/FL} = 208$  Fälle).

#### 4.1.2 Vorauswertung der Daten

Die Tabellen 18 und 19 zeigen für die gefilterten Daten die Häufigkeitsverteilung der nominalen Variablen sowie die Lageparameter der metrischen Variablen. Von den ausgewählten Fällen der NASS/CDS-Datenbank sind 10,9% der Insassen schwerverletzt, während nur 6,1% der ausgewählten Fälle der GIDAS-Datenbank eine schwere Verletzung aufweisen. Die Verteilung der Verletzungsintensität in den Datenbanken nach MAIS-Werten ist in Abbildung 25 dargestellt. Der unterschiedliche Anteil schwerverletzter Insassen zwischen den NASS/CDS- und den GIDAS-Daten ist auf die Unterschiede in der Erhebungsmethodik zurückzuführen (vgl. Kapitel 3.1.1). In der NASS/CDS-Datenbank werden gezielt mehr Unfälle mit schweren Verletzungen der Insassen

<sup>54</sup> Die Auswertung basiert auf der zum 18.5.2005 aktuellen Version der GIDAS-Datenbank.

aufgenommen, während die GIDAS-Datenbank eine Zufallsstichprobe der Unfälle mit Personenschaden in den Erhebungsgebieten enthält.



**Abb. 25.** Verteilung der Verletzungsintensität nach MAIS in den aufbereiteten Daten der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank

Die unterschiedliche Verteilung der Unfallintensität zwischen den Datenbanken spiegelt sich auch in der unterschiedlichen Häufigkeit des Auftretens einer Intrusion (*intrus*) mit 20,1 % (NASS/CDS) und 13,7 % (GIDAS), einer Lenkradkranzdeformation (*rimdef*) mit 12,4 % (NASS/CDS) und 4,8 % (GIDAS) sowie in dem Mittelwertunterschied der maximalen äußeren Deformationstiefe (*defmax*) von 29,7 cm (NASS/CDS) zu 25,2 cm (GIDAS) wieder. Der höhere Anteil der Fälle mit einer Aktivierung des Frontal-Airbags (*fbagdep*) in den NASS/CDS-Daten von 79,9 % zu 50,3 % (GIDAS) kann auf die höhere Unfallintensität sowie auf die geringeren Schwellwerte für die Airbag-Auslösung in USA als in Europa zurückgeführt werden. Kein Unterschied zeigt sich zwischen den Datenbanken beim Mittelwert des Geschwindigkeitsverlustes bei den Kollisionen (*dvttotal*).

**Tabelle 18.** Häufigkeitsverteilung der nominalen Variablen (NASS/CDS- und GIDAS-Datenbank)

Variable	NASS/CDS		GIDAS	
	no (0)	yes (1)	no (0)	yes (1)
mais3p	89,1 %	10,9 %	93,9 %	6,1 %
bodytype				
bodytype(1)		70,4 %		96,4 %
bodytype(2)		1,5 %		1,5 %
bodytype(3)		28,1 %		2,2 %
multimp	71,1 %	28,9 %	69,2 %	30,8 %
pole	91,5 %	8,5 %	93,7 %	6,3 %
fbagdep	20,1 %	79,9 %	49,7 %	50,3 %
intrus				
intrus(0)		79,9 %		86,3 %
intrus(1)		11,7 %		9,8 %
intrus(2)		8,1 %		3,4 %
intrus(3)		1,2 %		0,6 %
rimdef	87,6 %	12,4 %	95,2 %	4,8 %
sex	53,2 %	46,8 %	69,2 %	30,8 %
seattrack				
seattrack(1)		26,5 %		63,4 %
seattrack(2)		20,9 %		18,7 %
seattrack(3)		50,6 %		17,9 %
beltuse	18,9 %	81,1 %	6,1 %	93,9 %

**Tabelle 19.** Lageparameter der metrischen Variablen (NASS/CDS- und GIDAS-Datenbank)

Variable	NASS/CDS				GIDAS			
	Min	Max	$\bar{x}$	s	Min	Max	$\bar{x}$	s
modelyr	1990	2004	1996,6	3,0	1995	2004	1998	2,0
curbwgt	850	3000	1464,7	337,9	851	2175	1226	244,2
dvttotal	5	160	26,0	13,3	5	135	26,6	18,8
defmax	0	239	29,7	23,7	0	225	25,2	25,1
age	16	90	37,7	17,2	17	97	41,1	15,8
weight	36	150	77,1	18,8	39	125	77,7	12,8
height	62	211	171,5	10,6	117	202	174,9	8,5
bmi	14	232	26,1	6,4	10	55	25,2	3,8

$\bar{x}$  : Mittelwert

s : Standardabweichung

Für die bivariate Analyse des Zusammenhangs zwischen jeweils einer unabhängigen Eingangsvariable und der abhängigen Variable *mais3p* wurden der Korrelationskoeffizient nach *Spearman Rho* berechnet und die logistische Regression mit jeweils einer unabhängigen Variable durchgeführt. Die Tabellen 20 und 21 zeigen die Ergebnisse für

die NASS/CDS- und die GIDAS-Datenbank. Bei beiden Datenbanken zeigen die unabhängigen Eingangsvariablen *dvtotal*, *multimp*, *pole*, *fbagdep*, *intrus*, *rimdef*, *defmax* und *beltuse* einen hochsignifikanten ( $p < 0,01$ ) bivariaten Zusammenhang mit der vorherzusagenden Variable *mais3p*.

Die Variable *fbagdep* weist dabei in beiden Datenbanken eine positive Korrelation mit der Variable *mais3p* auf. Dies deutet darauf hin, dass das Auslösen des Frontal-Airbags positiv mit einer schweren Verletzung des Insassen in der Fahrersitzposition korreliert. Der Effekt-Koeffizient (*odds ratio*, LR Exp(B)) für die Variable *fbagdep* beträgt 4,8 (NASS/CDS) bzw. 5,4 (GIDAS), d.h. das Risiko einer schweren Verletzung der Fahrzeuginsassen ist bei einem Unfall mit Auslösung des Airbags um das 4,8- bzw. 5,4-fache höher als bei einem Unfall ohne Airbag-Auslösung. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da der Airbag im Regelfall ab Geschwindigkeitsänderungen (*dvtotal*) zwischen 12km/h und 30km/h ausgelöst wird. Die Airbag-Auslösung stellt damit ein Trennkriterium zwischen sehr leichten Unfällen mit geringen Geschwindigkeitsänderungen und schwereren Unfällen mit höheren Geschwindigkeitsänderungen dar.<sup>55</sup> Diese Eigenschaft wird in den aktuell eingesetzten automatischen Notrufsystemen, deren Triggerschwelle an die Airbag-Auslösung gekoppelt ist, genutzt. Durch einen Vergleich der Verletzungsintensität zwischen der Körperregion *Kopf/Gesicht* und der Region *untere Extremitäten* konnte ausgeschlossen werden, dass die Korrelation der Variable *fbagdep* mit *mais3p* auf Verletzungen zurückzuführen ist, die durch das Entfalten des Airbags induziert sind.

Nur bei der NASS/CDS-Datenbank korrelieren die Variablen *bodytype*, *curbwgt*, *age* und *bmi* hochsignifikant ( $p < 0,01$ ) und die Variable *weight* signifikant ( $p < 0,05$ ) mit der vorherzusagenden Variable. Die Korrelationskoeffizienten sind jedoch bei diesen Variablen durchgängig sehr klein ( $r < 0,1$ ), so dass nur von einem sehr schwachen bivariaten Zusammenhang ausgegangen werden kann.

Abbildung 26 zeigt für die signifikanten metrischen Variablen *dvtotal* und *defmax* sowie *age* und *bmi* die Streudiagramme mit den ermittelten bivariaten logistischen Regressionsfunktionen. Auf der Ordinate der Diagramme ist der prozentuale Anteil der schwerverletzten Insassen innerhalb jeweils einer Einheit der unabhängigen Variablen aufgetragen. Der Unterschied zwischen den stärker korrelierenden Variablen *dvtotal* und *defmax* ( $r > 0,25$ ) und den nur schwach korrelierenden Variablen *age* und *bmi* ( $r < 0,1$ ) wird in der Abbildung deutlich.

<sup>55</sup> Die Geschwindigkeitsänderung bei einem Aufprall korreliert mit der Insassenbelastung.



**Tabelle 20.** Bivariate Analyse, NASS/CDS-Datenbank

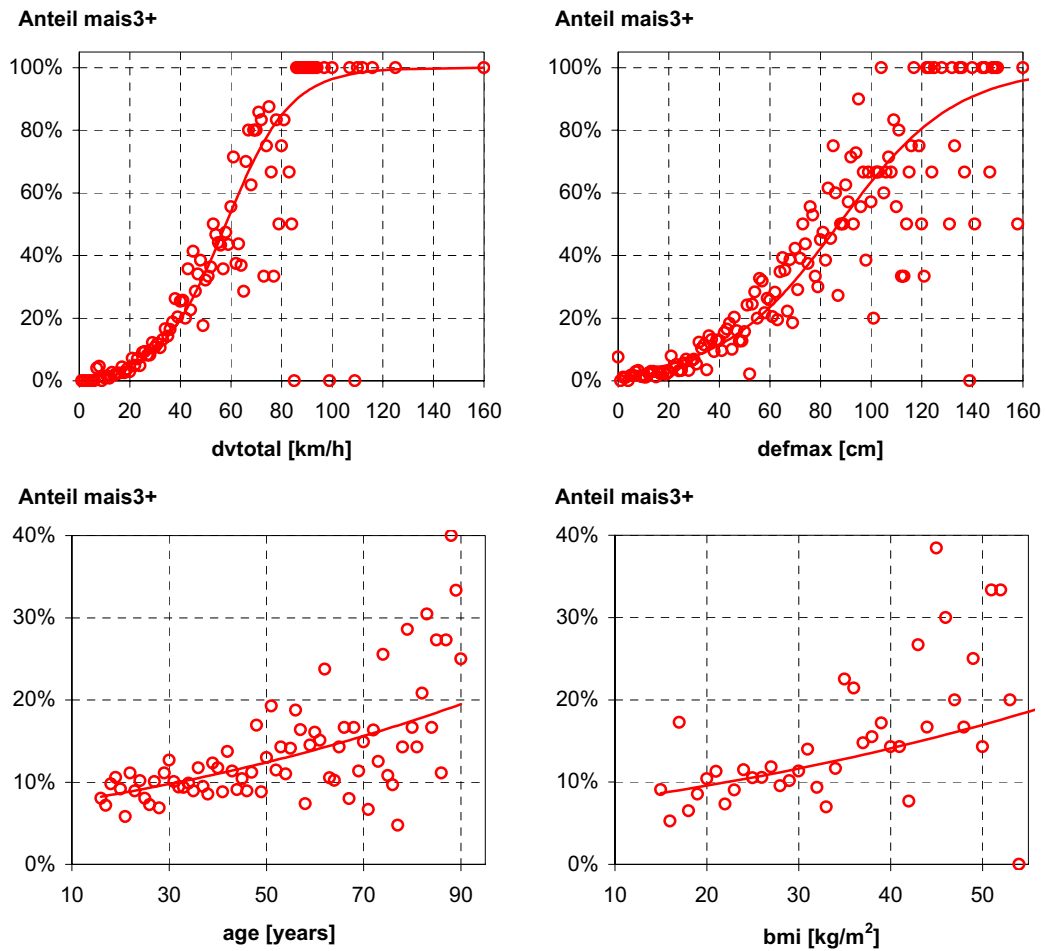
Variable	Korrelations- koeffizient	Sig.	LR Exp(B)	Sig.	95% Konfidenz- intervall Exp(B)	
bodytype						
bodytype(1)	** 0,059	0,000	1,558	0,000	1,241	1,957
bodytype(2)	0,012	0,415	1,341	0,419	0,658	2,731
bodytype(3)	** -0,063	0,000	0,613	0,000	0,485	0,775
modelyr	-0,025	0,104	0,977	0,154	0,946	1,009
curbwgt	** -0,063	0,000	0,999	0,000	0,999	1,000
dvttotal	** 0,333	0,000	1,081	0,000	1,073	1,089
multimp	** 0,087	0,000	1,771	0,000	1,452	2,159
pole	** 0,188	0,000	4,210	0,000	3,297	5,376
fbagdep	** 0,129	0,000	4,771	0,000	0,211	7,088
intrus	** 0,368	0,000				
intrus(1)			3,867	0,000	2,946	5,076
intrus(2)			13,219	0,000	10,174	17,175
intrus(3)			67,484	0,000	35,200	129,377
rimdef	** 0,290	0,000	6,602	0,000	5,324	8,186
defmax	** 0,309	0,000	1,042	0,000	1,038	1,046
sex	0,011	0,464	1,074	0,465	0,886	1,302
age	** 0,048	0,002	1,010	0,000	1,004	1,015
weight	* 0,037	0,021	1,008	0,001	1,003	1,014
height	-0,003	0,874	0,999	0,797	0,989	1,009
bmi	** 0,045	0,005	1,020	0,010	1,005	1,036
seattrack						
seattrack(1)	0,010	0,512	1,063	0,582	0,855	1,321
seattrack(2)	0,008	0,582	1,083	0,512	0,854	1,373
seattrack(3)	-0,016	0,304	0,903	0,306	0,742	1,098
beltuse	** -0,226	0,000	0,238	0,000	0,194	0,291

Der Korrelationskoeffizient entspricht dem Spearman Rho Koeffizienten;  
 die Signifikanzwerte geben 2-seitige Signifikanzen an (\*\* Niveau 0,01 und \* Niveau 0,05);  
 LR Exp(B) entspricht dem Effekt-Koeffizienten (odds ratio) der logistischen  
 Regression mit der jeweiligen unabhängigen Variable und der abhängigen  
 Variable mais3p.

**Tabelle 21.** Bivariate Analyse, GIDAS-Datenbank

Variable	Korrelationskoeffizient	Sig.	LR Exp(B)	Sig.	95% Konfidenzintervall Exp(B)	
bodytype						
bodytype(1)	-0,015	0,691	0,741	0,691	0,169	3,254
bodytype(2)	0,020	0,607	1,721	0,611	0,213	13,913
bodytype(3)	0,003	0,929	1,098	0,929	0,141	8,553
modelyr	0,031	0,424	1,080	0,322	0,927	1,258
curbwgt	-0,038	0,316	0,999	0,455	0,998	1,001
dvttotal	** 0,276	0,000	1,050	0,000	1,035	1,065
multimp	** 0,159	0,000	3,621	0,000	1,911	6,862
pole	** 0,185	0,000	5,786	0,000	2,621	12,771
fbagdep	** 0,169	0,000	5,381	0,000	2,356	12,288
intrus	** 0,454	0,000				
intrus(1)			9,494	0,000	4,006	22,501
intrus(2)			90,625	0,000	32,320	254,108
intrus(3)			> 100	0,546	0,000	> 100
rimdef	** 0,482	0,000	37,173	0,000	16,602	83,230
defmax	** 0,296	0,000	1,048	0,000	1,036	1,061
sex	0,014	0,709	1,135	0,709	0,585	2,202
age	0,003	0,932	1,003	0,765	0,984	1,023
weight	-0,007	0,849	1,000	0,976	0,976	1,025
height	0,003	0,929	1,003	0,893	0,996	1,040
bmi	-0,011	0,766	0,993	0,865	0,914	1,078
seattrack						
seattrack(1)	-0,021	0,590	0,839	0,590	0,444	1,587
seattrack(2)	0,018	0,635	1,203	0,635	0,561	2,582
seattrack(3)	0,007	0,846	1,082	0,846	0,488	2,400
beltuse	** -0,239	0,000	0,122	0,000	0,057	0,262

Der Korrelationskoeffizient entspricht dem Spearman Rho Koeffizienten;  
 die Signifikanzen geben 2-seitige Signifikanzen an (\*\* Niveau 0,01 und \* Niveau 0,05);  
 LR Exp(B) entspricht dem Effekt-Koeffizienten (odds ratio) der logistischen  
 Regression mit der jeweiligen unabhängigen Variable und der abhängigen  
 Variable mais3p.



**Abb. 26.** Bivariater Zusammenhang zwischen signifikanten metrischen Variablen (dvttotal, defmax, age, bmi) und der vorherzusagenden Variable mais3p mit logistischen Regressionsfunktionen, NASS/CDS-Datenbank

### 4.1.3 Logistische Regression

Auf der Grundlage der Trainingsmengen der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank wurden multivariate logistische Regressionsmodelle mit unterschiedlichen Gruppen von Eingangsgrößen entwickelt. Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Modelle wurde für jedes Modell der Anteil der erklärten Variation der abhängigen Variable durch die Eingangsgrößen über die *Nagelkerke-R<sup>2</sup>*-Statistik (N.K.  $R^2$ ) bestimmt. Die ROC-Kurven wurden für die Trainings- und die Testmengen berechnet. Ein globaler Vergleich der ROC-Kurven erfolgt über die Fläche unter der Kurve (AUC), für die jeweils der Standardfehler (SERR) und das 95%-Konfidenzintervall (95% CI) ermittelt wurden.

In Tabelle 22 sind die Kennzahlen und in den Abbildungen 27 und 28 die ROC-Kurven der logistischen Regressionsmodelle auf Basis der NASS/CDS-Datenbank dargestellt. Das Modell *N1* basiert nur auf der Eingangsgröße *dvttotal* und wird als Referenzmodell genutzt. Für die Spezifikation der Modelle von *N2* bis *N5* wurden jeweils weitere Eingangsvariablen hinzugenommen, um die Veränderung der Leistungsfähigkeit der Modelle mit zusätzlichen Eingangsvariablen zu untersuchen. Dabei wurden die Eingangsvariablen schrittweise um Variablen mit höherem Aufwand für die automatische Erfassung erweitert (Gruppen: *a*; *a & b1*; *a & b1 & b2*; *a & b1 & b2 & c*). Für die Erstellung der einzelnen Modelle wurde die *SPSS*-Prozedur *FSTEP(LR)* zur automatischen Modellsuche eingesetzt. Mit der Prozedur werden aus den vorgegebenen Eingangsvariablen über Signifikanztests schrittweise die Variablen ausgewählt, die zu einem Modell mit bestmöglichem Erklärungsgehalt führen. Die in die Modelle einbezogenen Variablen sind in der vierten Spalte der Tabelle 22 dargestellt. Um die Bedeutung einzelner Variablen für die Leistungsfähigkeit des Gesamtmodells zu untersuchen, wurden für die Erstellung der Modelle *N6* bis *N12* die einzubeziehenden Eingangsvariablen fest vorgegeben (*SPSS*-Prozedur *ENTER*).

Aufgrund der hohen Anzahl von Fällen, die in der Trainings- und der Testmenge der NASS/CDS-Datenbank zur Verfügung stehen, ist der Verlauf der ROC-Kurven nahezu kontinuierlich. Der Unterschied in der Lage und dem Verlauf der Kurven ist zwischen der Trainings- und der Testmenge gering. Der Resubstitutionsfehler zeigt sich an der leichten Verschiebung der ROC-Kurven in der unabhängigen Testmenge nach rechts unten. Der AUC-Wert der Modelle ist für die Testmenge dementsprechend etwas kleiner als für die Trainingsmenge.

Tabelle 22. Kennzahlen der logistischen Regressionsmodelle, NASS/CDS-Datenbank

Nr.	vorgegebene Variablen	Methode	einbezogene Variablen	NASS/CDS Trainingsmenge					NASS/CDS Testmenge			
				N.K.	R <sup>2</sup>	AUC	SERR	95% CI(AUC)	AUC	SERR	95% CI(AUC)	
N1	dvtotal	ENTER	dvtotal	0,256	0,813	0,012	0,790	0,836	0,804	0,012	0,781	0,826
N2	Gruppe a	FSTEP(LR)	dvtotal bodytype(3) multimp fbagdep beltuse	0,314	0,841	0,010	0,820	0,861	0,827	0,011	0,806	0,847
N3	Gruppe a, b1	FSTEP(LR)	dvtotal bodytype(3) multimp beltuse intrus defmax rimdef	0,365	0,867	0,010	0,847	0,886	0,863	0,009	0,844	0,881
N4	Gruppe a, b1, b2	FSTEP(LR)	dvtotal bodytype(3) curbwtg multimp beltuse intrus defmax rimdef bmi	0,373	0,866	0,010	0,847	0,886	0,857	0,010	0,838	0,877
N5	Gruppe a, b1, b2, c	FSTEP(LR)	dvtotal curbwtg multimp beltuse intrus defmax rimdef weight age sex	0,403	0,877	0,009	0,858	0,895	0,870	0,009	0,852	0,888
N6	dvtotal beltuse	ENTER	dvtotal beltuse	0,298	0,829	0,011	0,807	0,851	0,818	0,011	0,797	0,840
N7	dvtotal beltuse intrusg	ENTER	dvtotal beltuse intrus	0,352	0,852	0,010	0,832	0,873	0,854	0,010	0,835	0,874
N8	dvtotal beltuse defmax	ENTER	dvtotal beltuse defmax	0,317	0,835	0,011	0,813	0,857	0,832	0,011	0,811	0,853
N9	dvtotal bodytype(3) multimp beltuse	ENTER	dvtotal bodytype(3) multimp beltuse	0,313	0,840	0,011	0,819	0,861	0,823	0,011	0,802	0,844
N10	dvtotal bodytype(3) multimp beltuse intrusg	ENTER	dvtotal bodytype(3) multimp beltuse intrus	0,363	0,861	0,010	0,842	0,881	0,854	0,010	0,835	0,874
N11	dvtotal bodytype(3) multimp beltuse defmax	ENTER	dvtotal bodytype(3) multimp beltuse defmax	0,332	0,846	0,011	0,826	0,867	0,835	0,011	0,815	0,856
N12	dvtotal bodytype(3) multimp beltuse rimdef	ENTER	dvtotal bodytype(3) multimp beltuse rimdef	0,327	0,846	0,010	0,825	0,866	0,831	0,011	0,810	0,852

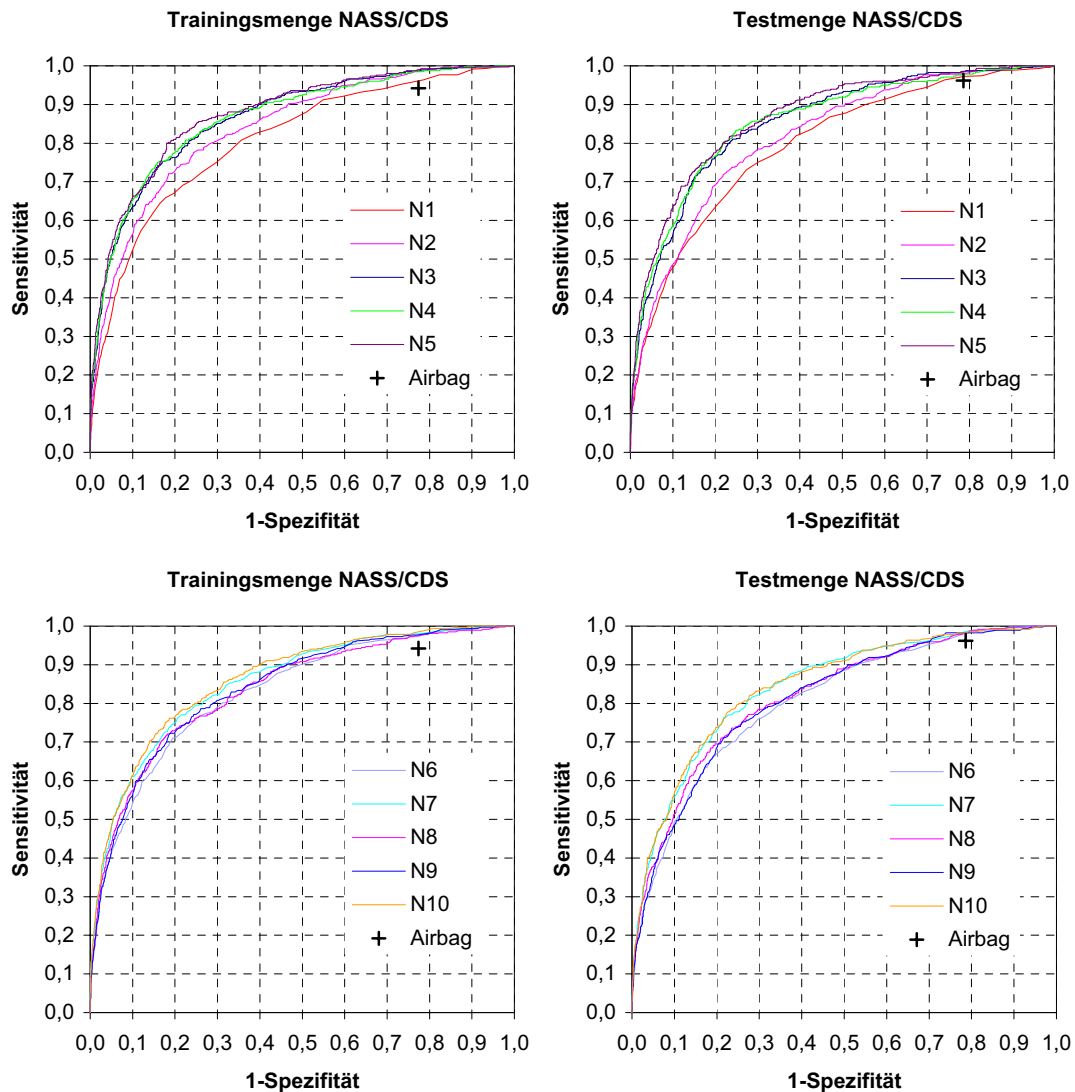
Mit zunehmender Anzahl an einbezogenen Eingangsvariablen (Modell *N1* bis *N5*) verschieben sich die ROC-Kurven immer weiter nach links oben. Die Verschiebung der Kurven ist ein Zeichen für eine zunehmende Güte der Prognosemodelle. Der Effekt spiegelt sich auch in steigenden *Nagelkerke-R<sup>2</sup>*-Werten und in einer zunehmenden Größe der Fläche unter der ROC-Kurve (AUC) wider. Bei einem *Nagelkerke-R<sup>2</sup>*-Wert ab 0,2 kann von einer akzeptablen und ab 0,4 von einer guten Anpassung des Gesamtmodells an die Testmenge ausgegangen werden.

Ein deutlicher Sprung der Modellgüte ist von Modell *N1* zu *N2* und von *N2* zu *N3* zu beobachten. Von Modell *N1* zu *N2* wurden neben der Variable *dvttotal* weitere Variablen aufgenommen, die mit der in den Fahrzeugen aktuell integrierten Sensorik erfasst werden können (*bodytype*, *modelyr*, *curbwgt*, *multimp*, *fbagdep*, *beltuse*, *seattrack*). Von Modell *N2* zu *N3* wurden zusätzlich Variablen, die weitere Informationen über den Crashverlauf liefern, in das Prognosemodell einbezogen. Diese Variablen sind noch nicht mit der aktuell verfügbaren PKW-Sensorik messbar (*intrus*, *defmax*, *rimdef*). Von Modell *N3* zu *N4* und von Modell *N4* zu *N5* wurden Variablen aufgenommen, die Insassenmerkmale beschreiben, die durch Sensoren gemessen (*weight*, *height*, *bmi*) oder nur durch die Identifikation der Insassen (*sex*, *age*) bestimmt werden können. In Abbildung 27 wird deutlich, dass die Insassenmerkmale nur noch zu einem geringfügigen Anstieg der Modellgüte führen.

In die Modelle wurden bei der Anwendung der Prozedur zur automatischen Modellsuche nicht alle vorgegebenen Variablen aufgenommen. Mit der Prozedur wird schrittweise anhand von Signifikanztests entschieden, ob weitere und ggf. welche der vorgegebenen Variablen aufgenommen werden. Werden beispielsweise zwei hochkorrelierte Variablen für die Modellsuche vorgegeben, wird nur die Variable aufgenommen, mit der die abhängige Variable (Verletzungsschweregrad) am besten vorhergesagt werden kann. Die zweite Variable beinhaltet dann keine zusätzlichen Informationen mehr.

Es stellt sich nun die Frage, welche Variablen im Modell *N3* den größten Beitrag zur Vorhersage der abhängigen Variable liefern bzw. welche Modellgüte erzielt werden kann, wenn ausgewählte Variablen aus dem Modell wieder entfernt werden. Dazu wurden die Modelle *N6* bis *N12* gebildet, bei denen die Eingangsvariablen fest vorgegeben wurden. Die Abbildung 27 (unten) lässt erkennen, dass die Modelle *N7* und *N10* die beste Leistung zeigen. In der Trainingsmenge ist das Modell *N10* mit 5 Eingangsvariablen noch leicht dem Modell *N7* mit drei Eingangsvariablen überlegen. Dieser Vorteil geht aber in der Testmenge wieder verloren. Die ROC-Kurven liegen fast übereinander. Das Modell *N3* mit 7 Eingangsvariablen bietet in der Trainings- und der Testmenge nur einen geringfügigen Vorteil gegenüber den Modellen *N10* und *N7* (vgl. Abb. 28). Die drei Eingangsvariablen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus* des Modells *N7* führen also zu einer

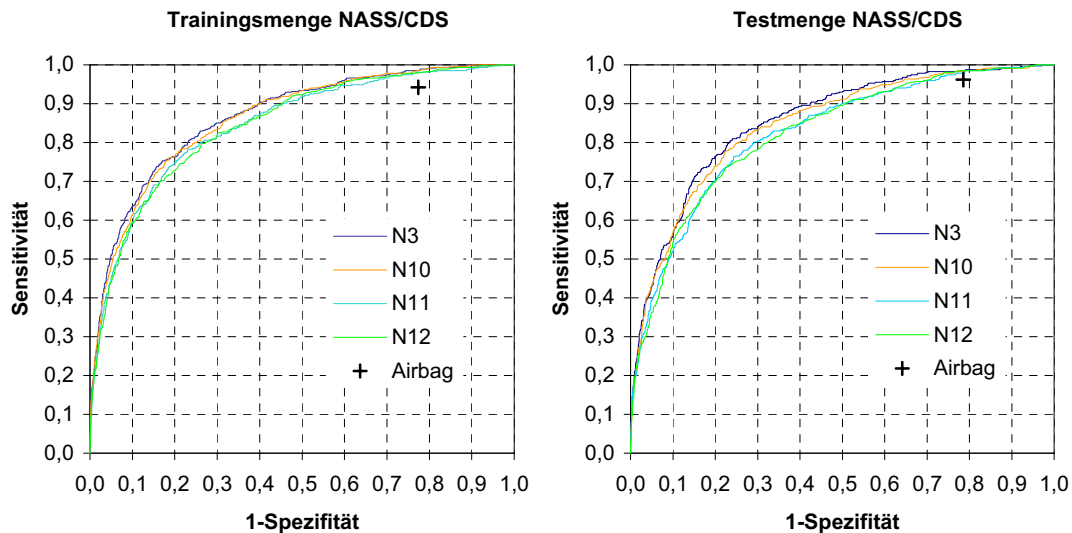
fast vergleichbaren Prognosegüte wie das Modell *N3* mit sieben Eingangsvariablen. Aus diesem Grund wird das Modell *N7* in Kapitel 4.1.5 für die Gegenüberstellung der unterschiedlichen Prognoseverfahren und in Kapitel 4.1.6 für die beispielhafte Bestimmung eines Arbeitspunktes genutzt.



**Abb. 27.** ROC-Kurven der logistischen Regressionsmodelle *N1* bis *N10* an der Trainings- und der Testmenge, NASS/CDS-Datenbank

In den Diagrammen wurden für die einzelnen ROC-Kurven zur Wahrung der Übersichtlichkeit die Konfidenzbänder nicht eingezeichnet. Anhand der 95%-Konfidenzintervalle für die AUC-Werte der Modelle zeigt sich jedoch, dass sich die Intervalle der Modelle *N2* bis *N5* sowie *N7* bis *N12* überlappen. Zwischen den Modellen *N2* bis *N5* und *N7* bis *N12* liegen damit zwar in der untersuchten Stichprobe Leistungsunterschiede vor, die Überlappung der Konfidenzintervalle deutet jedoch auf keinen signifikanten

Unterschied ( $\alpha = 0,05$ ) in der Leistungsfähigkeit zwischen den Modellen  $N2$  bis  $N5$  sowie  $N7$  bis  $N12$  hin. Das Modell  $N1$  ist hingegen auf einem Niveau ( $\alpha = 0,05$ ) signifikant schlechter als die Modelle  $N3$ ,  $N4$ ,  $N5$ ,  $N7$  und  $N10$ .



**Abb. 28.** ROC-Kurven der logistischen Regressionsmodelle  $N3$  und  $N10$  bis  $N12$  an der Trainings- und der Testmenge, NASS/CDS-Datenbank

In den Diagrammen ist neben den ROC-Kurven das Sensitivitäts-Spezifitäts-Verhältnis eingezeichnet, das sich ergibt, wenn nur das Auslösen des Frontal-Airbags als Klassifikationskriterium zwischen un- bzw. leichtverletzten und schwerverletzten Personen genutzt wird. Dieser Punkt wird mit den bisherigen automatischen Notrufsystemen erreicht, bei denen die Versendung einer automatischen Unfallmeldung über die Aktivierung des Airbags getriggert wird.

Mit einem Prognosemodell, das als einziges Klassifikationskriterium das Auslösen des Airbags nutzt, werden in der Trainingsmenge eine Sensitivität von 94,2% und eine 1-Spezifität von 77,4% und in der Testmenge eine Sensitivität von 96,2% und eine 1-Spezifität von 78,6% erreicht. Dieses Prognosemodell führt zwar zu einer hohen Sensitivität, aber im Gegenzug zu einer geringen Spezifität, da der Airbag bereits bei geringen *dvttotal*-Werten ausgelöst wird. Alle betrachteten Prognosemodelle zeigen eine höhere Leistungsfähigkeit gegenüber einem derartigen Prognosemodell. Je nach Modell kann bei gleicher Sensitivität eine um bis zu 10% höhere Spezifität erzielt werden. Bei einer geringfügigen Reduktion der Sensitivität sind aufgrund eines flachen Verlaufs der ROC-Kurven in diesem Diagrammabschnitt noch höhere Spezifitäten erzielbar.



Die Tabellen 23 bis 25 enthalten für die Regressionsmodelle *N6*, *N7* und *N5* die Regressionskoeffizienten (B) mit Standardfehlern (SERR), Signifikanzen (Sig.), Effekt-Koeffizienten (Exp(B)) und 95%-Konfidenzintervallen (95% CI).

**Tabelle 23.** Parameter des logistischen Regressionsmodells *N6*, NASS/CDS-Datenbank

Variable	Regressions-koeffizient B	SERR	Sig.	EXP(B)	95% CI(EXP(B))	
Konstante	-3,583	0,157	0,000	0,028		
dvtotal	0,075	0,004	0,000	1,078	1,070	1,086
beltuse	-1,214	0,116	0,000	0,297	0,237	0,373

**Tabelle 24.** Parameter des logistischen Regressionsmodells *N7*, NASS/CDS-Datenbank

Variable	Regressions-koeffizient B	SERR	Sig.	EXP(B)	95% CI(EXP(B))	
Konstante	-3,388	0,162	0,000	0,034		
dvtotal	0,054	0,004	0,000	1,056	10,47	1,064
beltuse	-1,165	0,121	0,000	0,312	0,246	0,395
intrus(1)	0,711	0,154	0,000	2,037	1,506	2,754
intrus(2)	1,619	0,159	0,000	5,048	3,700	6,889
intrus(3)	2,742	0,373	0,000	15,511	7,463	32,235

**Tabelle 25.** Parameter des logistischen Regressionsmodells *N5*, NASS/CDS-Datenbank

Variable	Regressions-koeffizient B	SERR	Sig.	EXP(B)	95% CI(EXP(B))	
Konstante	-4,747	0,520	0,000	0,009		
dvtotal	0,042	0,006	0,000	1,043	1,030	1,056
curbwgt	-0,001	0,000	0,000	0,999	0,998	0,999
multimp	0,549	0,138	0,000	1,731	1,321	2,269
beltuse	-1,171	0,144	0,000	0,310	0,234	0,411
intrus						
intrus(1)	0,462	0,178	0,009	1,588	0,120	2,251
intrus(2)	1,455	0,188	0,000	4,285	2,963	6,196
intrus(3)	2,294	0,441	0,000	9,913	4,173	23,550
defmax	0,014	0,003	0,000	1,015	0,008	1,021
rimdef	0,468	0,162	0,004	1,597	1,162	2,195
weight	0,014	0,004	0,000	1,014	1,007	1,022
age	0,026	0,004	0,000	1,026	1,019	1,034
sex	0,752	0,151	0,000	2,122	1,579	2,851

Aus der GIDAS-Datenbank liegen für die Spezifikation und den Test von Prognosemodellen nur 478 Fälle in der Trainingsmenge und 208 Fälle in der Testmenge vor. Bei der Prävalenz von schwerverletzten Insassen in Höhe von 6,1% enthält die Trainingsmenge nur 28 und die Testmenge nur 14 Fälle von Insassen mit schweren Verletzungen.

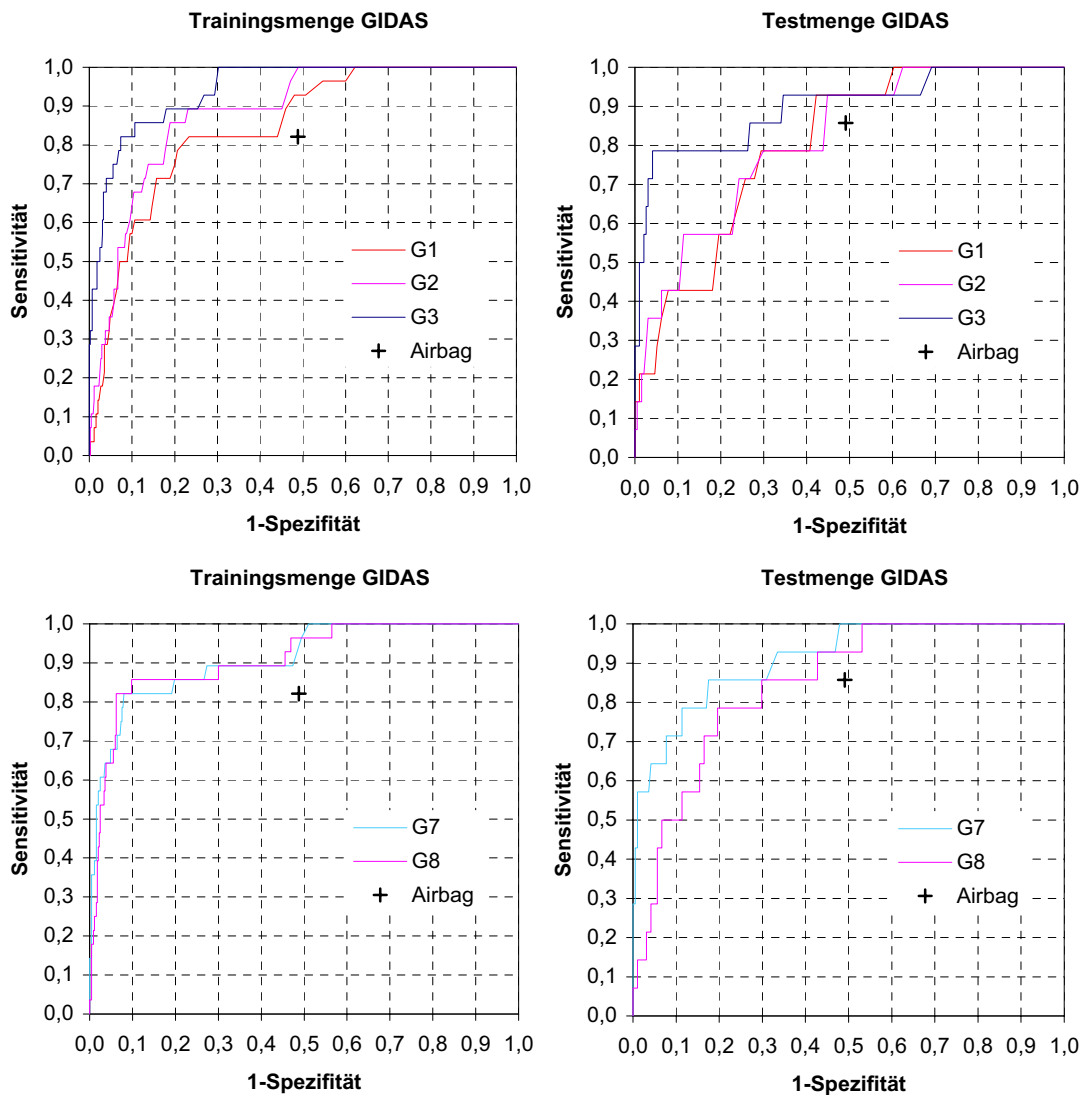
Die geringe Anzahl an Fällen erschwert die Spezifikation bzw. den Test der Modelle und führt zu großen Standardfehlern, breiten Konfidenzintervallen und stufigen ROC-Kurven.

Die Tabelle 26 enthält die Kennzahlen der spezifizierten logistischen Regressionsmodelle. Die Abbildung 29 zeigt die entsprechenden ROC-Kurven für die Trainings- und die Testmenge. Nach dem gleichen Verfahren, das bei der NASS/CDS-Datenbank durchgeführt wurde, wurden mehrere Modelle mit schrittweiser Aufnahme zusätzlicher Eingangsvariablen entwickelt. Es zeigt sich, dass die Hinzunahme der insassenspezifischen Variablen zu keiner Änderung der Modelle führt (Modelle von *G3* bis *G5*). Bei der automatischen Modellsuche werden die zusätzlich vorgegebenen Variablen nicht aufgenommen. Dieser Effekt stimmt mit den Ergebnissen der bivariaten Analyse überein, in der keine signifikante Korrelation dieser Merkmale mit der vorherzusagenden Variable zu beobachten war.

Ein deutlicher Anstieg der Prognosegüte zeigt sich bei der Erweiterung der vorgegebenen Eingangsgrößen für die Modellbildung um Variablen, die den Crashverlauf beschreiben (von Modell *G2* zu *G3*). Von diesen Variablen werden die Merkmale *multimp*, *intrus* und *defmax* in das Modell aufgenommen. Im nächsten Schritt wurde wieder untersucht, welche der Variablen des Modells *G3* die größte Bedeutung für die Vorhersage der abhängigen Variable haben. Das Modell *G7* mit den Eingangsgrößen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus* zeigt, analog zur NASS/CDS-Datenbank, sowohl in der Trainings- als auch in der Testmenge die beste Leistungsfähigkeit. Bei diesem Modell sind auch die Unterschiede in der Leistungsfähigkeit zwischen der Trainings- und der Testmenge am kleinsten. In den Tabellen 27 und 28 sind die Parameter der logistischen Regressionsmodelle *G6* und *G7* dargestellt.

**Tabelle 26.** Kennzahlen der logistischen Regressionsmodelle, GIDAS-Datenbank

Nr.	vorgegebene Variablen	Methode	einbezogene Variablen	GIDAS Trainingsmenge				GIDAS Testmenge				
				N.K. R <sup>2</sup>	AUC	SERR	95% CI(AUC)	AUC	SERR	95% CI(AUC)		
G1	dvtotal	ENTER	dvtotal	0,192	0,843	0,034	0,776	0,991	0,804	0,051	0,705	0,903
G2	Gruppe a	FSTEP(LR)	dvtotal beltuse	0,280	0,882	0,027	0,828	0,935	0,804	0,053	0,709	0,919
G3	Gruppe a, b1	FSTEP(LR)	beltuse multimp intrus defmax	0,530	0,943	0,018	0,909	0,978	0,897	0,052	0,796	0,998
G4	Gruppe a, b1, b2	FSTEP(LR)	beltuse multimp intrus defmax			analog G3				analog G3		
G5	Gruppe a, b1, b2, c	FSTEP(LR)	beltuse multimp intrus defmax			analog G3				analog G3		
G6	dvtotal beltuse	ENTER	dvtotal beltuse			analog G2				analog G2		
G7	dvtotal beltuse intrus	ENTER	dvtotal beltuse intrus	0,471	0,921	0,029	0,855	0,970	0,912	0,039	0,837	0,888
G8	dvtotal beltuse defmax	ENTER	dvtotal beltuse defmax	0,415	0,911	0,030	0,853	0,969	0,846	0,045	0,759	0,934



**Abb. 29.** ROC-Kurven der logistischen Regressionsmodelle G1 bis G3, G7 und G8 an der Trainings- und der Testmenge, GIDAS-Datenbank

Aufgrund der hohen Standardfehler der AUC-Werte überlappen sich die Konfidenzintervalle von allen spezifizierten Modellen, so dass trotz unterschiedlicher AUC-Werte nicht von einem statistisch signifikanten Unterschied der Leistungsfähigkeit ausgegangen werden kann. Aufgrund der geringen Fallzahlen ist im Vergleich zur NASS/CDS-Datenbank der Unterschied der Leistungsfähigkeit zwischen Trainings- und Testmenge wesentlich größer. Dies zeigt sich sowohl an den AUC-Werten als auch an den ROC-Kurven, die in der Testmenge deutlich nach rechts unten verschoben sind.

**Tabelle 27.** Parameter des logistischen Regressionsmodells *G6*, GIDAS-Datenbank

Variable	Regressions- koeffizient B	SERR	Sig.	EXP(B)	95 % CI(EXP(B))	
Konstante	-2,475	0,560	0,000	0,084		
dvtotal	0,047	0,009	0,000	1,048	1,031	1,066
beltuse	-2,324	0,522	0,000	0,098	0,035	0,272

**Tabelle 28.** Parameter des logistischen Regressionsmodells *G7*, GIDAS-Datenbank

Variable	Regressions- koeffizient B	SERR	Sig.	EXP(B)	95 % CI(EXP(B))	
Konstante	-2,122	0,650	0,000	0,120		
dvtotal	0,015	0,012	0,025	1,016	1,001	1,040
beltuse	-2,523	0,603	0,000	0,080	0,025	0,262
intrus(1)	1,469	0,650	0,024	4,345	1,215	15,534
intrus(2)	4,145	0,759	0,000	63,128	14,275	>100
intrus(3)	10,395	25,659	0,164	>100	0,000	>100

Ein Prognosemodell, das nur die Auslösung des Airbags als Klassifikationskriterium nutzt, führt auf der Grundlage der GIDAS-Daten zu einer Sensitivität von 82,1% und einer 1-Spezifität von 48,8% in der Trainingsmenge und zu einer Sensitivität von 85,7% und einer 1-Spezifität von 49,1% in der Testmenge. Im Vergleich zu den ausgewerteten Daten der NASS/CDS-Datenbank ist hier die Sensitivität kleiner und die Spezifität deutlich größer. Dies ist durch die unterschiedlichen Schwellwerte für die Auslösung eines Airbags in Europa und USA zu erklären.

#### 4.1.4 Entscheidungsbauminduktion

Analog zur Vorgehensweise bei der Erstellung der logistischen Regressionsmodelle wurden mit dem Verfahren der Entscheidungsbauminduktion auf der Grundlage der NASS/CDS- und GIDAS-Trainingsmengen Entscheidungsbäume spezifiziert. Ihre Leistungsfähigkeit wurde anschließend an den Trainings- und Testmengen beurteilt. Zur Erstellung der Entscheidungsbäume wurde die Software *C5* von *Ross Quinlan* und *CART* von *Saleford Systems* eingesetzt. Für die Modellerstellung wurde wieder schrittweise die Anzahl der Eingangsvariablen erhöht.

Um Entscheidungsbäume mit unterschiedlichen Klassifikationseigenschaften bezüglich Sensitivität und Spezifität zu erhalten, wurden für eine vorgegebene Gruppe von Eingangsvariablen jeweils Entscheidungsbäume mit unterschiedlichen Verhältnissen für Fehlklassifikationskosten (FN/FP: 0/1, 2/1, 4/1, 8/1, 16/1, 32/1, 48/1 und 1/0) erzeugt. Ein Modell umfasst immer mehrere Entscheidungsbäume, die mit unterschiedlichen Fehlklassifikationskosten für die gleichen vorgegebenen Eingangsvariablen entwickelt wurden.

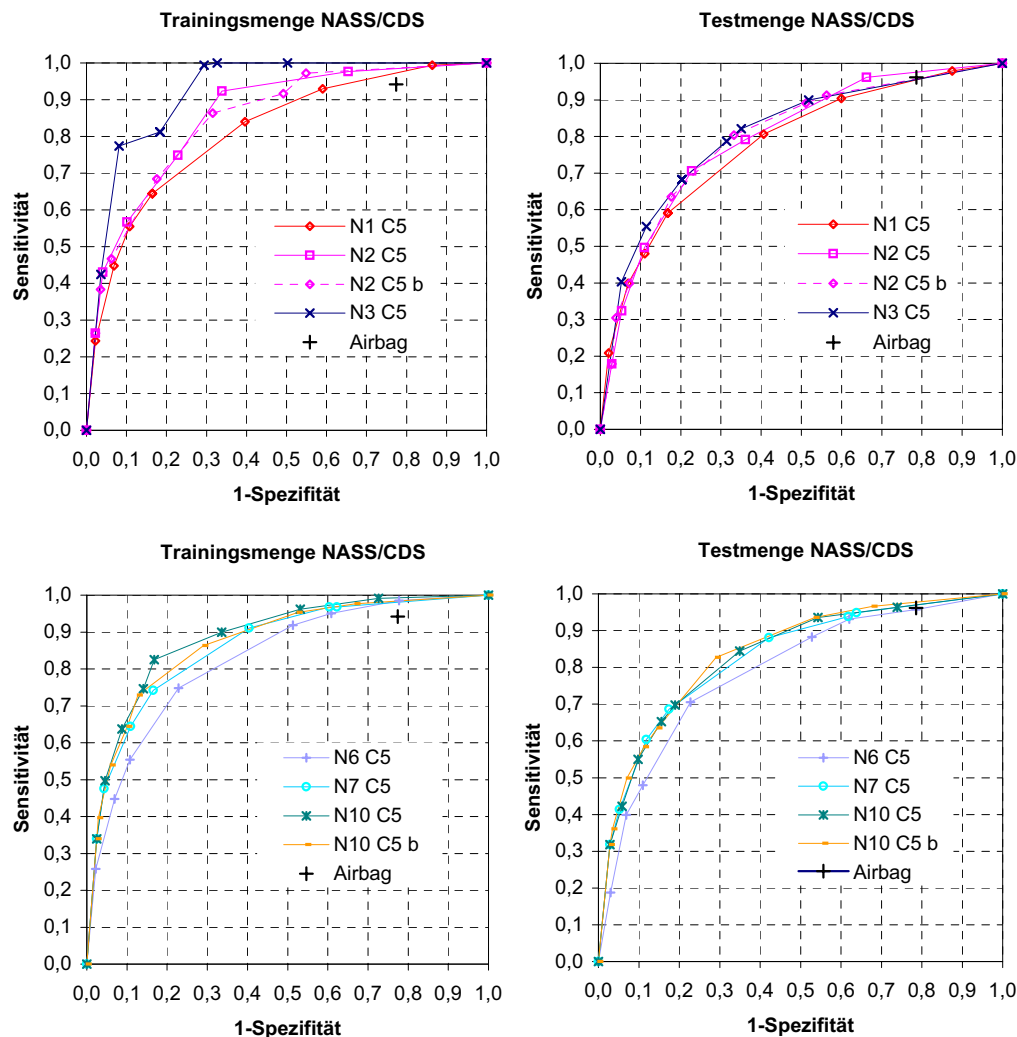
**Tabelle 29.** Kennzahlen der Entscheidungsbaum-Modelle mit *C5*, NASS/CDS-Datenbank

Nr.	vorgegebene Variablen	NASS/CDS Trainingsmenge				NASS/CDS Testmenge			
		AUC	SERR	95% CI(AUC)		AUC	SERR	95% CI(AUC)	
N1 C5	dvttotal	0,815	0,012	0,791	0,839	0,781	0,013	0,755	0,806
N2 C5	Gruppe a	0,857	0,011	0,835	0,879	0,798	0,013	0,773	0,823
N2b C5	Gruppe a (b: boosting)	0,848	0,011	0,826	0,870	0,799	0,013	0,774	0,824
N3 C5	Gruppe a, b1	0,921	0,009	0,904	0,938	0,808	0,012	0,784	0,832
N6 C5	dvttotal beltuse	0,828	0,012	0,805	0,852	0,790	0,013	0,765	0,815
N7 C5	dvttotal beltuse intrusg	0,862	0,011	0,841	0,884	0,827	0,012	0,803	0,850
N10 C5	dvttotal bodytype multimp beltuse intrusg	0,885	0,010	0,865	0,905	0,830	0,012	0,807	0,854
N10b C5	dvttotal bodytype multimp beltuse intrusg (b: boosting)	0,872	0,011	0,851	0,893	0,839	0,012	0,816	0,862

unabhängige Variable: mais3p

SERR: Standardfehler; CI: Konfidenzintervall

Die Entscheidungsbäume eines Modells wurden auf die Trainings- und die Testmenge angewendet. Werden die sich daraus ergebenden Sensitivitäts-Spezifitäts-Werte in ein ROC-Diagramm eingezeichnet und die Punkte der Entscheidungsbäume miteinander verbunden, entsteht eine ROC-Kurve. Anschließend wurden die Fläche unter der Kurve (AUC) über die Trapezintegration bestimmt und der Standardfehler sowie die Konfidenzintervalle berechnet. Die Tabelle 29 zeigt die AUC-Werte der entwickelten Modelle mit dem Algorithmus *C5* für die NASS/CDS-Datenbank. Die Abbildung 30 zeigt die entsprechenden ROC-Diagramme für die Trainings- und die Testmenge.



**Abb. 30.** ROC-Kurven der Entscheidungsbaum-Modelle mit C5 an der Trainings- und der Testmenge, NASS/CDS-Datenbank

Mit steigender Anzahl an vorgegebenen Eingangsvariablen steigt die Prognosegüte der Modelle gemessen am AUC-Wert sowohl in der Trainings- als auch in der Testmenge an. Der Algorithmus C5 führt allerdings trotz spezieller Einstellungen für verarschte Daten (*pruning severity* = 85%; vgl. Kapitel 3.1.3.2) mit steigender Anzahl an vorgegebenen Eingangsvariablen zu immer größer werdenden Entscheidungsbäumen und damit auch zu einer Überanpassung an die Trainingsdaten (*overfitting*). Dies zeigt sich bereits deutlich bei dem Modell N3 C5, das zwar gegenüber den Modellen mit weniger Eingangsvariablen in der Trainingsmenge eine deutlich höhere Leistungsfähigkeit aufweist, aber in der Testmenge nur noch zu einem sehr geringen Vorteil führt. Werden zu den Eingangsvariablen die insassenspezifischen Merkmale hinzugefügt (Gruppe *b2*), erzeugt der Algorithmus Entscheidungsbäume, die aufgrund dieser Proble-

matik nicht mehr genutzt werden können. Das Modell *N10 C5* weist in der Testmenge die höchste Leistungsfähigkeit auf. Nur unwesentlich schlechter ist das Modell *N7 C5* mit den Eingangsvariablen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus*.

Der Algorithmus *C5* bietet die Möglichkeit, Entscheidungsbäume nach der *Boosting*-Methode zu erstellen. Bei den zugrundeliegenden Daten führt diese Methode nur zu geringfügigen Verbesserungen der Ergebnisse (vgl. Modelle *N2 C5* und *N2 C5b* sowie *N10 C5* und *N10 C5b*). Aufgrund der höheren Komplexität der *Boosting*-Modelle und keiner signifikanten Leistungsverbesserung in der vorliegenden Problemstellung wurde diese Methode nicht weiter eingesetzt.

Alternativ zu *C5* wurde der Algorithmus *CART* angewendet. In Tabelle 30 und Abbildung 31 sind die Ergebnisse für die NASS/CDS-Datenbank dargestellt. Auch bei einer hohen Anzahl von Eingangsvariablen wurden nutzbare Entscheidungsbäume mit steigender Prognosegüte sowohl in der Trainings- als auch in der Testmenge erzeugt. Aufgrund der geringen Anzahl an Punkten, die eine ROC-Kurve bilden, ist ein Vergleich der AUC-Werte mit den Ergebnissen von *C5* nur eingeschränkt möglich.

**Tabelle 30.** Kennzahlen der Entscheidungsbaum-Modelle mit *CART*, NASS/CDS-Datenbank

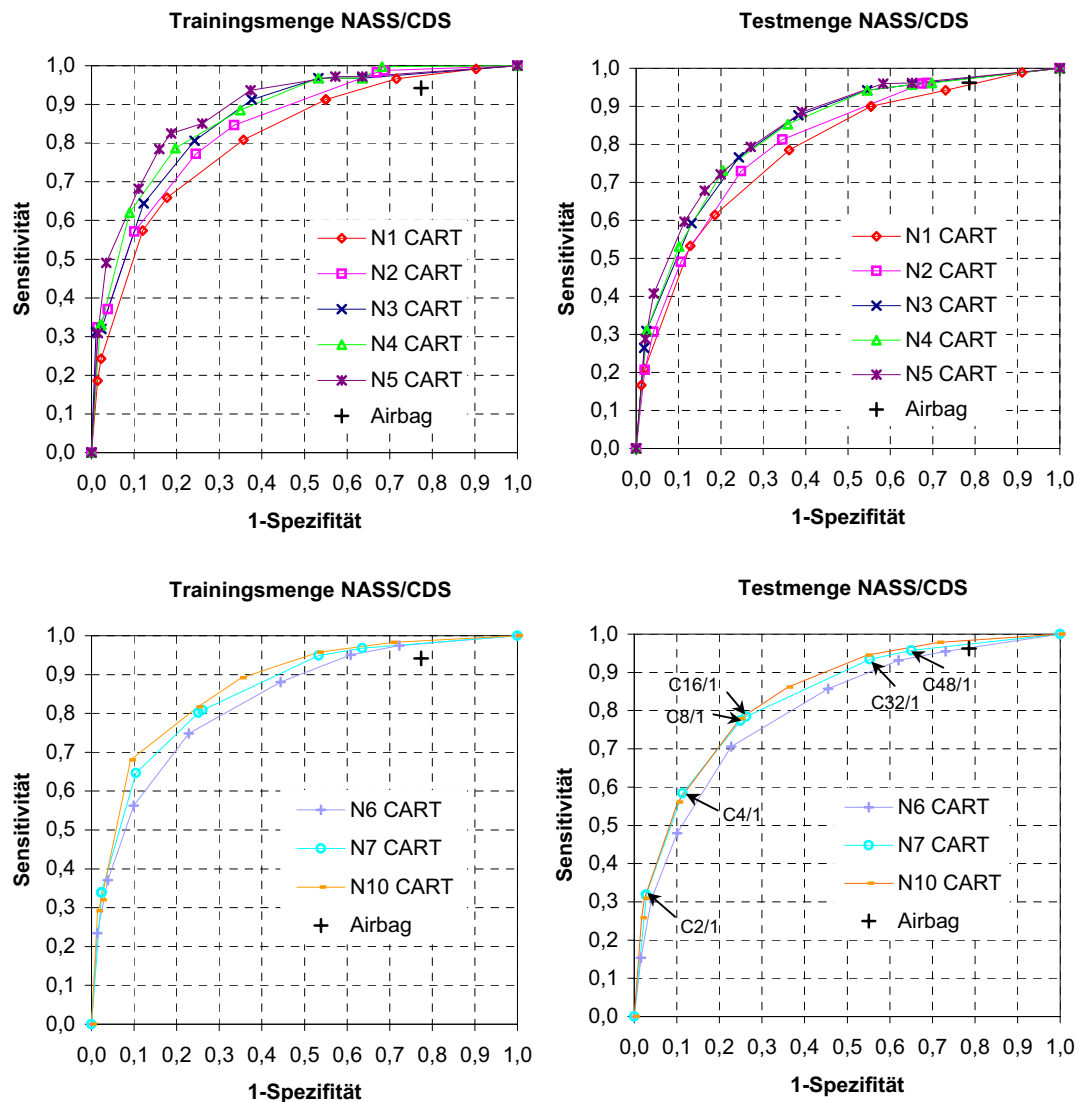
Nr.	vorgegebene Variablen	NASS/CDS Trainingsmenge				NASS/CDS Testmenge			
		AUC	SERR	95% CI(AUC)		AUC	SERR	95% CI(AUC)	
N1 CART	dvttotal	0,812	0,012	0,787	0,836	0,786	0,013	0,761	0,812
N2 CART	Grupp a	0,844	0,012	0,821	0,867	0,806	0,012	0,781	0,830
N3 CART	Gruppe a, b1	0,861	0,011	0,839	0,882	0,833	0,012	0,810	0,856
N4 CART	Gruppe a, b1, b2	0,871	0,011	0,850	0,892	0,832	0,012	0,809	0,856
N5 CART	Gruppe a, b1, b2, c	0,886	0,010	0,866	0,906	0,843	0,012	0,820	0,865
N6 CART	dvttotal beltuse	0,832	0,012	0,809	0,855	0,799	0,013	0,774	0,823
N7 CART	dvttotal beltuse intrus	0,854	0,011	0,832	0,876	0,830	0,012	0,806	0,853
N10 CART	dvttotal beltuse intrusg bodytype multimp	0,871	0,011	0,850	0,892	0,840	0,012	0,817	0,863

unabhängige Variable: mais3p

SERR: Standardfehler; CI: Konfidenzintervall

Mit steigender Anzahl der Eingangsvariablen von Modell *N1 CART* bis *N5 CART* steigt wieder der AUC-Wert und damit die Prognosegüte der Modelle an. Der größte Anstieg ist - wie bei den logistischen Regressionsmodellen - bis Modell *N3 CART* zu beobachten. Die Hinzunahme von Insassenmerkmalen als Eingangsvariablen erhöht die Prognosegüte insbesondere in der Testmenge nur noch geringfügig. Mit den 3 Eingangsvariablen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus* wird wieder ein relativ gutes Ergebnis erzielt. Allerdings schneidet das Modell *N10 CART* mit den zusätzlichen Variablen *bodytype* und *multimp* sowohl in der Trainings- als auch in der Testmenge geringfügig besser ab.





**Abb. 31.** ROC-Kurven der Entscheidungsbaum-Modelle mit CART an der Trainings- und der Testmenge, NASS/CDS-Datenbank

Die Abbildung 32 zeigt die Entscheidungsbäume für das Modell *N7 CART* für unterschiedliche Verhältnisse der Fehlklassifikationskosten (FN/FP). In der Abbildung 33 ist der ausführliche Entscheidungsbaum für das Fehlklassifikationskostenverhältnis 32/1 dargestellt. In den Endknoten der Entscheidungsbäume entspricht die Zuordnung zur Klasse 0 der Prognose eines un- bzw. leichtverletzten Insassen und die Zuordnung zur Klasse 1 der Prognose eines schwerverletzten Insassen. Jeder Entscheidungsbaum führt zu einem Punkt im ROC-Diagramm. In der Abbildung 31 (rechts unten) sind für das Modell *N7 CART* die genutzten Fehlklassifikationskosten (FN/FP) für jeden Punkt eingezeichnet.

<p><b>Costs 2/1:</b></p> <pre> dvttotal &lt;= 36.5 =&gt; class 0 dvttotal &gt; 36.5   intrus in [0 1] =&gt; class 0   intrus in [2 3] =&gt; class 1 </pre> <p><b>Costs 4/1:</b></p> <pre> dvttotal &lt;= 33.5   intrus in [0 1] =&gt; class 0   intrus in [2 3] =&gt; class 1 dvttotal &gt; 33.5   intrus in [0 1] =&gt; class 0   beltuse in [0] =&gt; class 0   beltuse in [1]     dvttotal &lt;= 42.5 =&gt; class 0     dvttotal &gt; 42.5       intrus in [1] =&gt; class 1       intrus in [0] =&gt; class 0       intrus in [2 3] =&gt; class 1 </pre> <p><b>Costs 8/1:</b></p> <pre> dvttotal &lt;= 33.5   beltuse in [0]     dvttotal &lt;= 20.5       intrus in [0 1] =&gt; class 0       intrus in [2 3] =&gt; class 1     dvttotal &gt; 20.5 =&gt; class 1   beltuse in [1]     intrus in [0 1] =&gt; class 0     intrus in [2 3] =&gt; class 1 dvttotal &gt; 33.5 =&gt; class 1 </pre>	<p><b>Costs 16/1:</b></p> <pre> dvttotal &lt;= 32.5   dvttotal &lt;= 20.5     intrus in [2 3] =&gt; class 1     intrus in [0 1] =&gt; class 0   dvttotal &gt; 20.5     beltuse in [1]       intrus in [0 1] =&gt; class 0       intrus in [2 3] =&gt; class 1     beltuse in [0] =&gt; class 1 dvttotal &gt; 32.5 =&gt; class 1 </pre> <p><b>Costs 32/1:</b></p> <pre> dvttotal &lt;= 25.5   intrus in [1 2 3] =&gt; class 1   intrus in [0]     beltuse in [0]       dvttotal &lt;= 12.5 =&gt; class 0       dvttotal &gt; 12.5 =&gt; class 1     beltuse in [1]       dvttotal &lt;= 24.5 =&gt; class 0       dvttotal &gt; 24.5 =&gt; class 1 dvttotal &gt; 25.5 =&gt; class 1 </pre> <p><b>Costs 48/1:</b></p> <pre> dvttotal &lt;= 20.5   beltuse in [0] =&gt; class 1   beltuse in [1]     intrus in [0] =&gt; class 0     intrus in [1 2 3] =&gt; class 1 dvttotal &gt; 20.5 =&gt; class 1 </pre>
--	--

**Abb. 32.** Entscheidungsbäume des Modells N7 CART für die Kostenverhältnisse (FN/FP): 2/1, 4/1, 8/1, 16/1, 32/1, 48/1

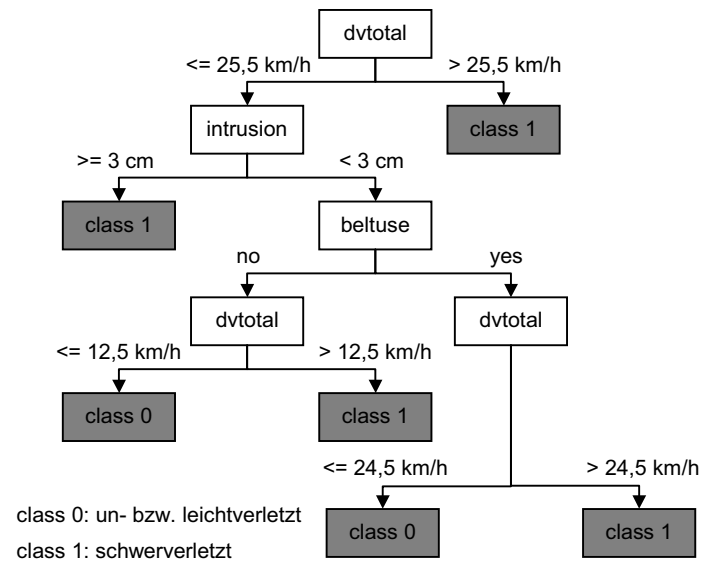
Tabelle 31 und Abbildung 34 zeigen die spezifizierten Modelle mit dem Algorithmus *CART* für die GIDAS-Datenbank.

**Tabelle 31.** Kennzahlen der Entscheidungsbaum-Modelle mit *CART*, GIDAS-Datenbank

Nr.	vorgegebene Variablen	GIDAS Trainingsmenge				GIDAS Testmenge			
		AUC	SERR	95% CI(AUC)		AUC	SERR	95% CI(AUC)	
G1 CART	dvttotal	0,868	0,044	0,782	0,954	0,791	0,073	0,647	0,934
G6 CART	dvttotal beltuse	0,889	0,041	0,809	0,969	0,809	0,071	0,669	0,948
G7 CART	dvttotal beltuse intrus	0,908	0,038	0,833	0,982	0,892	0,057	0,779	1,005

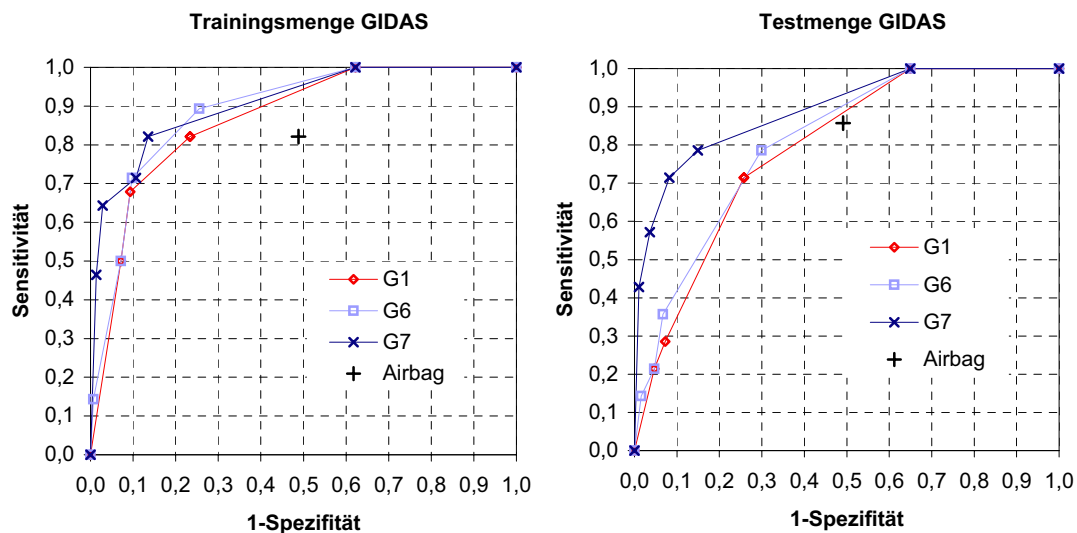
unabhängige Variable: mais3p

SERR: Standardfehler; CI: Konfidenzintervall



**Abb. 33.** Entscheidungsbaum des Modells N7 CART für das Kostenverhältnis  $FN/FP = 32/1$

Aufgrund der geringen Fallzahlen in der Trainingsmenge neigen die Algorithmen der Entscheidungsbauminduktion zur Überanpassung (*overfitting*), so dass nur nutzbare Modelle mit ausgewählten Eingangsvariablen erzeugt werden konnten. Das Modell G7 mit den Eingangsvariablen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus* zeigt wiederum eine gute Leistungsfähigkeit und die geringsten Resubstitutionsfehler.

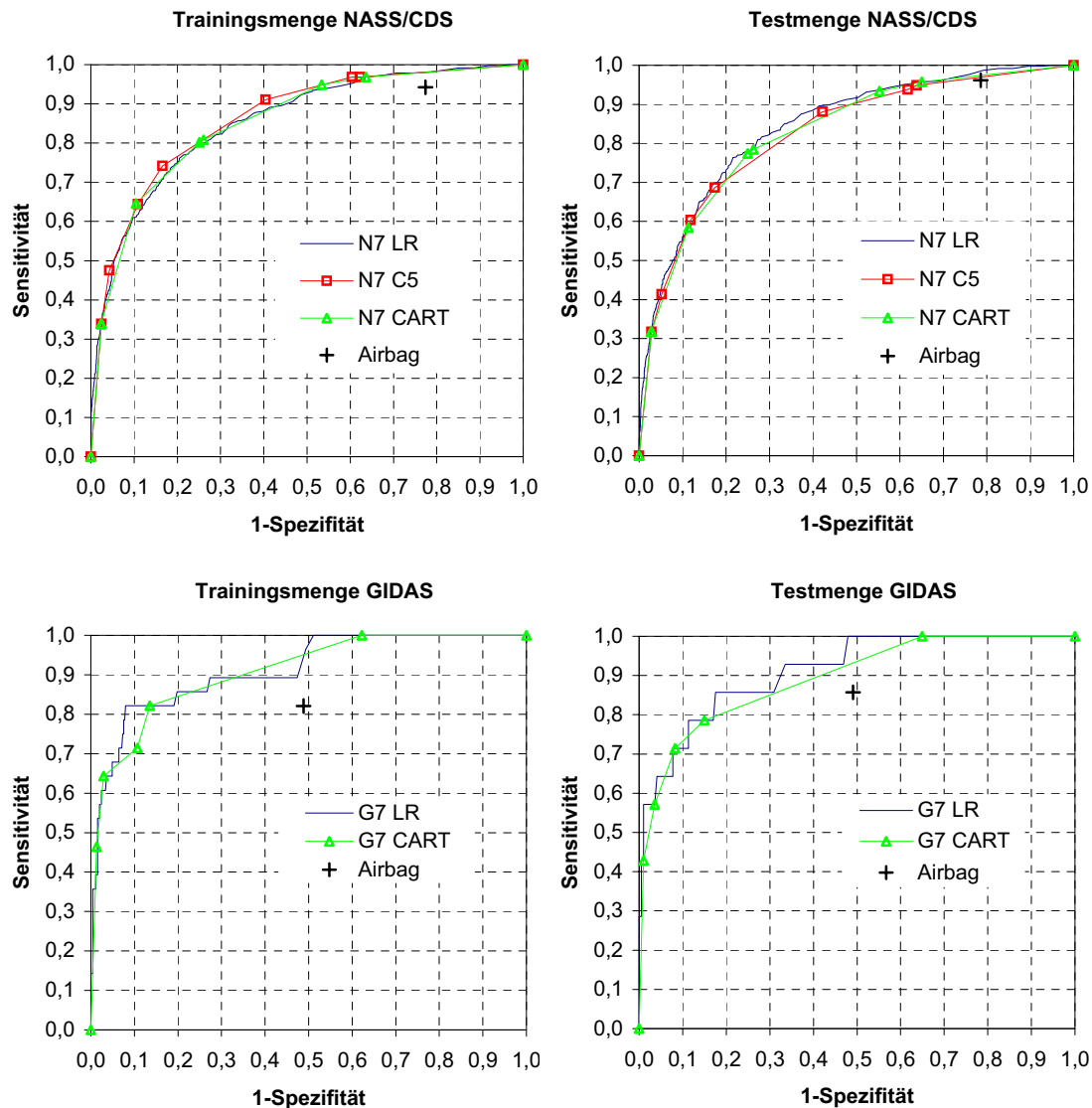


**Abb. 34.** ROC-Kurven der Entscheidungsbaum-Modelle mit CART an der Trainings- und der Testmenge, GIDAS-Datenbank

#### 4.1.5 Gegenüberstellung der Verfahren und Prognosemodelle

In Abbildung 35 sind die Prognosemodelle *N7 LR*, *N7 C5*, *N7 CART* sowie *G7 LR* und *G7 CART* dargestellt. Die Modelle wurden mit der logistischen Regression (*LR*) und der Entscheidungsbauminduktion (Algorithmus *C5* bzw. *CART*) auf der Basis der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank erstellt und nutzen als Eingangsgrößen die Variablen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus*.

Die Abbildung zeigt, dass die unterschiedlichen Verfahren auf der gleichen Datengrundlage Modelle mit fast identischen ROC-Kurven erzeugen. Bei einem Vergleich zwischen den ROC-Kurven der Algorithmen *C5* und *CART* an der NASS/CDS-Datenbank wird allerdings deutlich, dass gleiche Vorgaben von Fehlklassifikationskosten nicht zu gleichen Sensitivitäts-Spezifitäts-Ergebnissen führen. Die Sensitivitäts-Spezifitäts-Paare sind auf der ROC-Kurve verschoben. Die Vorgabe von Fehlklassifikationskosten (FN/FP) in Höhe von 8/1 führt beispielhaft mit *C5* zu einer Sensitivität von 74,2% und einer 1-Spezifität von 16,6% und mit *CART* zu einer Sensitivität von 80,2% und einer 1-Spezifität von 25,1%. Dennoch sind beide ROC-Kurven fast deckungsgleich. Die logistische Regression und die Entscheidungsbauminduktion als Verfahren zur Erstellung der Prognosemodelle unterscheiden sich bei beiden Datenbanken nur geringfügig. Deutlich wird jedoch der prinzipielle Unterschied der Verfahren: Mit der logistischen Regression werden Modelle erstellt, die als Ausgangsgröße den Wahrscheinlichkeitswert für eine schwere Verletzung des Insassen liefern. Durch die Verschiebung eines Klassifikationstrennwertes können nahezu kontinuierliche ROC-Kurven erzeugt werden. Die Abstufung der Kurven bei den Modellen auf der Basis der GIDAS-Datenbank wird durch die geringe Anzahl von Fällen, die zur Auswertung zur Verfügung standen, hervorgerufen. Bei Nutzung der Entscheidungsbauminduktion zur Modellerstellung wird für jeden Punkt auf der ROC-Kurve ein eigener Entscheidungsbaum durch die Vorgabe eines Fehlklassifikationskosten-Verhältnisses erzeugt.



**Abb. 35.** Prognosemodelle mit den Eingangsvariablen *dvtotal*, *beltuse* und *intrus* auf Basis der logistischen Regression (LR) und der Entscheidungsbauminduktion (C5 bzw. CART), NASS/CDS-Datenbank (oben), GIDAS-Datenbank (unten)

Ein Vergleich des ROC-Kurvenverlaufs zwischen der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank zeigt, dass die ROC-Kurven auf der Grundlage der GIDAS-Datenbank leicht nach links oben verschoben sind. Dies spricht für eine höhere Prognosegüte dieser Modelle (vgl. Kapitel 5.1.2).

### 4.1.6 Beispielhafte Bestimmung eines Arbeitspunktes für die Dispositionsempfehlung

Um mit den dargestellten Prognosemodellen eine Dispositionsempfehlung abzuleiten, muss ein Arbeitspunkt festgelegt werden, an dem die Klassifikation der Insassen in un- bzw. leichtverletzte und schwerverletzte Personen durchgeführt werden soll. Für die logistischen Regressionsmodelle bedeutet die Wahl eines Arbeitspunktes die Festlegung eines Klassifikationstrennwertes für die berechnete Verletzungswahrscheinlichkeit, ab dem für einen Insassen eine schwere Verletzung vorhergesagt wird (vgl. Gl. 1). Für Modelle auf Basis der Entscheidungsbauminduktion wird mit der Wahl eines Arbeitspunktes ein Entscheidungsbaum ausgewählt, der mit einem bestimmten Verhältnis für Fehlklassifikationskosten entwickelt wurde.

Die Auswahl des Arbeitspunktes kann nach unterschiedlichen Strategien erfolgen, die in Kapitel 3.1.5 beschrieben wurden. Im Folgenden wird beispielhaft der Arbeitspunkt für die Modelle mit den Eingangsvariablen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus* (*N7 LR* und *N7 CART*) einerseits durch Festlegung einer Mindestsensitivität und andererseits durch Minimierung der Gesamtkosten aus volkswirtschaftlicher Perspektive bestimmt. Zur Auswahl des Arbeitspunktes werden die ROC-Diagramme der Testmenge der NASS/CDS-Datenbank und der gesamten GIDAS-Daten (Vereinigung der Trainings- und Testmenge) genutzt (Abb. 36).

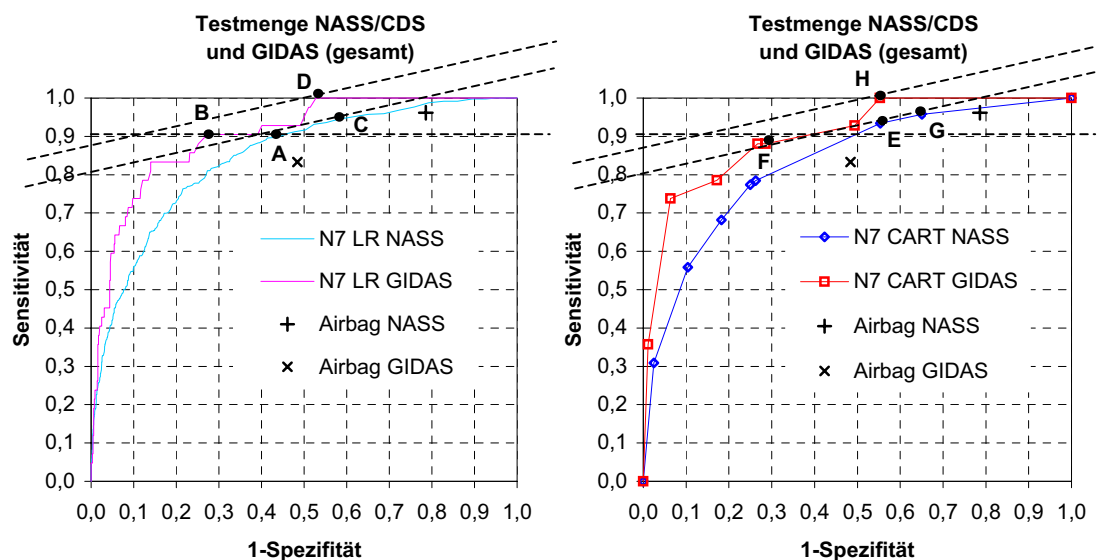


Abb. 36. Bestimmung des Arbeitspunktes der Prognosemodelle im ROC-Diagramm

Als Mindestsensitivität wird ein Wert von 90% festgelegt. Die Mindestsensitivität kann im ROC-Diagramm durch eine Gerade parallel zur Abszisse eingezeichnet werden (vgl. Kapitel 3.1.5). Für das logistische Regressionsmodell *N7* ergeben sich im Schnittpunkt der Geraden mit der ROC-Kurve (NASS/CDS) der Arbeitspunkt A mit einer Spezifität von 54,6% und mit der ROC-Kurve (GIDAS) der Arbeitspunkt B mit einer Spezifität von 72,7% (vgl. Tab. 32).

**Tabelle 32.** Ausgewählte Arbeitspunkte für das logistische Regressionsmodell *N7*

Methode	Daten	Punkt	Trennwert	SE	SP
Mindestsensitivität 90%	Testmenge NASS/CDS	A	4,5 %	90,5 %	54,6 %
Mindestsensitivität 90%	GIDAS (gesamt)	B	6,5 %	90,4 %	72,7 %
Kostenminimum ( $\alpha=0,25$ )	Testmenge NASS/CDS	C	3,3 %	94,5 %	41,8 %
Kostenminimum ( $\alpha=0,25$ )	GIDAS (gesamt)	D	3,3 %	100 %	47,2 %

Für die Modelle auf Basis der Entscheidungsbauminduktion kann entweder der nächstgelegene Punkt ausgewählt werden, für den ein Entscheidungsbaum entwickelt wurde, oder durch Variation der Fehlklassifikationskosten-Verhältnisse ein neuer Baum erstellt werden, der im Schnittpunkt der ROC-Kurve mit der Geraden liegt. Prinzipiell kann durch Kombination der Entscheidungsbäume jeder Punkt im ROC-Diagramm auf der Verbindungslinie zwischen zwei Entscheidungsbäumen erreicht werden [Witten2001]. Bei Vorgabe einer Mindestsensitivität von 90% für die NASS/CDS-Datenbank wird der Entscheidungsbaum (Algorithmus *CART*) mit dem Kostenverhältnis für Fehlklassifikationen (FN/FP) 32/1 ausgewählt (Punkt E). Mit diesem Entscheidungsbaum ergeben sich eine Sensitivität von 93,4% und eine Spezifität von 44,7%. Auf der Grundlage der GIDAS-Datenbank wird der Punkt F mit einer Sensitivität von 88,1% und einer Spezifität von 71,4% gewählt.

**Tabelle 33.** Ausgewählte Entscheidungsbäume (*CART*) aus dem Modell *N7*

Methode	Daten	Punkt	Kosten- verhältnis (FN/FP)	SE	SP
Mindestsensitivität 90%	Testmenge NASS/CDS	E	32/1	93,4 %	44,7 %
Mindestsensitivität 90%	GIDAS (gesamt)	F	16/1	88,1 %	71,4 %
Kostenminimum ( $\alpha=0,25$ )	Testmenge NASS/CDS	G	48/1	95,7 %	34,9 %
Kostenminimum ( $\alpha=0,25$ )	GIDAS (gesamt)	H	16/1	100 %	44,7 %

Soll ein Arbeitspunkt bestimmt werden, der zu einer Minimierung der Gesamtkosten aus volkswirtschaftlicher Perspektive führt, muss zunächst die Steigung der Iso-Kostengeraden bestimmt werden. Dafür sind Annahmen bezüglich der Kostensätze für den Rettungsdienst, der Letalität von schwerverletzten Personen, der Verringerung der Letalität der Schwerverletzten bei einer Erstversorgung durch ein notarztbesetztes Rettungsmittel sowie Annahmen bezüglich der volkswirtschaftlichen Kosten pro getötete Person erforderlich. Die getroffenen Annahmen sind in Tabelle 34 zusammengefasst.

**Tabelle 34.** Annahmen zur beispielhaften Bestimmung der Steigung der Iso-Kosten-Geraden

Annahme	Wert
Verhältnis N/P (GIDAS)	15,4
Kostensatz RTW ( $C_{RTW}$ )	281 EUR
Kostensatz NAW ( $C_{NAW}$ )	672 EUR
Letalität in Gruppe <i>schwerverletzt</i> (mais3p) ohne Notarzt	28 %
Letalität in Gruppe <i>schwerverletzt</i> (mais3p) mit Notarzt	26 %
Volkswirtschaftliche Kosten pro getötete Person	1.186.839 EUR

*Quellen: Kostensätze Rettungsdienst (Gebührenordnung der Berliner Feuerwehr 2004), volkswirtschaftliche Kosten [BAST2004], Letalität (Annahme, Anlehnung an eigene Auswertung GIDAS und [Biewener2005])*

Zur Vereinfachung werden nur die volkswirtschaftlichen Kosten in Folge der Änderung der Letalität bei der Erstversorgung durch einen Notarzt betrachtet. Eine Verringerung der volkswirtschaftlichen Kosten durch geringere Behandlungskosten oder eine schnellere Rehabilitation von verletzten Personen bleiben unberücksichtigt. Die Letalität unter den schwerverletzten Personen wurde auf der Grundlage der GIDAS-Datenbank ermittelt. Zur Änderung der Letalität infolge einer notärztlichen Erstversorgung wurden in der Literatur keine Studien gefunden. Anhaltspunkte ergeben Untersuchungen zum Einsatz der Luftrettung. In der Mehrzahl der Studien zu diesem Thema wurde ein signifikanter Überlebensvorteil (8,2% bis 52%) bei der Luftrettung (immer mit Notarztbesetzung) im Vergleich zum bodengebundenen Rettungsdienst (mit und ohne Notarztbesetzung) nachgewiesen [Biewener2005]. In der vorliegenden Berechnung wird beispielhaft von der konservativen Annahme ausgegangen, dass sich die Letalität von schwerverletzten Personen bei einer Erstbehandlung durch einen Notarzt um 2% verringert.<sup>56</sup>

Aus Gleichung 45 (Kapitel 3.1.5) und den Kostenkoeffizienten nach Abbildung 19 bzw. Tabelle 35 ergibt sich eine Steigung der Iso-Kosten-Geraden von  $a = 0,25$ . Der Schnittpunkt der ROC-Kurve mit der Tangente mit der Steigung  $a$  (vgl. Abb 36) ergibt die kostenminimalen Arbeitspunkte C bzw. G (NASS/CDS) und D bzw. H (GIDAS).

<sup>56</sup> Es wird von einem Überlebensvorteil ausgegangen, der deutlich geringer ist als in den Studien zur Luftrettung. Bei dem Vergleich ist zu beachten, dass die Luftrettung immer mit einem Notarzt besetzt ist, während beim bodengebundenen Rettungsdienst nur teilweise ein Notarzt anwesend ist. Der Überlebensvorteil bei der Luftrettung resultiert auch aus der freien Wahl der am besten geeigneten Zielklinik über weite Entfernungen.



**Tabelle 35.** Kostenkoeffizienten unter Berücksichtigung der Kosten aus volkswirtschaftlicher Perspektive

Kostenkoeffizienten	Wert
$k_{TP}$	-23.065 EUR
$k_{FP}$	672 EUR
$k_{TN}$	281 EUR
$k_{FN}$	953 EUR

Der optimale Arbeitspunkt für die GIDAS-Datenbank liegt bei einer Sensitivität von 100%. Für die NASS/CDS-Datenbank ist der Arbeitspunkt im Vergleich zur Vorgabe der Mindestsensitivität von 90% hin zu höherer Sensitivität und geringerer Spezifität verschoben.

## **4.2 Anforderungen zur telemedizinischen Unterstützung von Laien bei Erste-Hilfe-Maßnahmen**

Als Grundlage für die Definition der Anforderungen an die Funktionen eines Telemedizinssystems zur Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen wurden zunächst die typischen Verletzungen und pathophysiologischen Zustände der Unfallopfer nach Straßenverkehrsunfällen untersucht. Die Ergebnisse werden im Kapitel 4.2.1 dargestellt. Darauf aufbauend werden die indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen bestimmt (Kapitel 4.2.2) und den von zufällig anwesenden Erst-Helfern tatsächlich durchgeführten Maßnahmen gegenübergestellt (Kapitel 4.2.3). In diesem Soll-/ Ist-Vergleich zeigen sich die Defizite im Status Quo der Erste-Hilfe-Leistungen. Die indizierten Maßnahmen bilden anschließend im Kapitel 4.2.4 die Basis für die Untersuchung der Bedeutung einzelner telemedizinischer Funktionen für die Unterstützung von Laien und ermöglichen die Ableitung der Anforderungen an die Funktionen eines Telemedizinssystems für Verkehrsteilnehmer. Zur Abschätzung der erzielbaren Effekte einer telemedizinischen Unterstützung von Laien wurde der Einfluss von Erste-Hilfe-Leistungen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit untersucht und die Ergebnisse in Kapitel 4.2.5 dargestellt.

### **4.2.1 Typische Verletzungen und pathophysiologische Zustände der Unfallopfer nach Straßenverkehrsunfällen**

Die Untersuchung der typischen Verletzungen und pathophysiologischen Zustände wurde auf der Grundlage der Unfalldatenbank GIDAS durchgeführt. Die Datenbank enthält eine repräsentative Stichprobe aus allen den Rettungsdiensten und der Polizei gemeldeten Verkehrsunfällen mit Personenschaden in den Erhebungsgebieten (vgl. Kapitel 3.1.1.2).

Die Tabelle 36 (links) zeigt die Verteilung der Verletzungsschweregrade der in der Datenbank erfassten und verletzten Personen nach der MAIS-Skala. Rund drei Viertel aller verletzten Personen weisen Verletzungen mit einem geringen Schweregrad (MAIS 1), 18% mit einem mäßigen Schweregrad (MAIS 2), 5% der Personen weisen ernste, aber nicht lebensbedrohliche Verletzungen (MAIS 3) und 2% lebensbedrohliche bis kritische Verletzungen auf (MAIS 4 bis 5). Rund 1% erleiden tödliche Verletzungen, die derzeit nicht behandelt werden können (MAIS 6). Personen mit dem Verletzungsschweregrad MAIS 1 und 2 werden als leichtverletzt und Personen mit einem Verletzungsschweregrad MAIS 3 und größer als schwerverletzt gezählt. Diese Definition beruht auf der anatomisch orientierten MAIS-Skala und wird damit nicht durch den zeitlichen Verlauf des physiologischen Zustandes der verletzten Personen und auch

nicht durch präklinische oder klinische Interventionen beeinflusst [Kanz2002]. Neben dieser Klassifikation ist auch eine Einteilung der verletzten Personen in Leicht- und Schwerverletzte nach der Dauer der klinischen Behandlung bzw. nach der Letalität möglich. Diese versorgungsorientierte Definition wird in der Bundesstatistik verwendet. Dabei werden alle ambulant behandelten Personen als leichtverletzt, alle in einem Krankenhaus stationär behandelten Personen (Aufenthaltsdauer länger als 24 Stunden) als schwerverletzt und alle binnen 30 Tagen nach einem Unfall verstorbenen Personen als getötet bewertet.

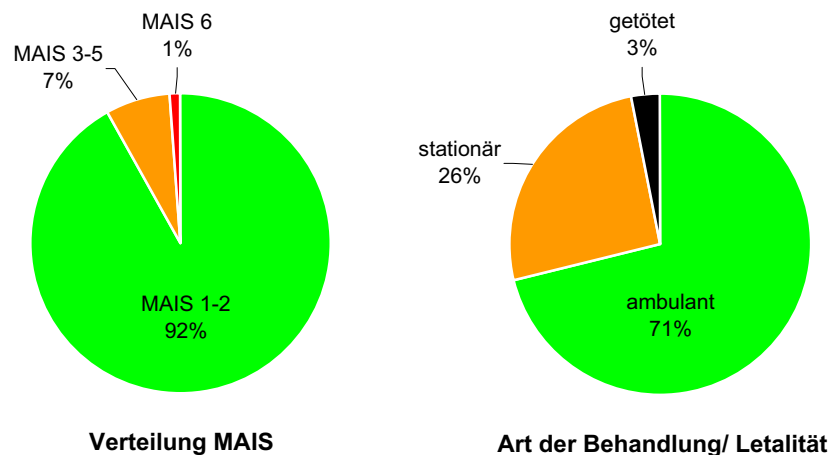
**Tabelle 36.** Verletzungsschweregrad, Behandlung und Letalität verletzter Personen nach Straßenverkehrsunfällen, GIDAS

Verletzungsschweregrad	Anzahl	[%] von MAIS1-6	[%] von MAIS2-6	Behandlung		
				ambulant	stationär	getötet
<b>MAIS 1</b>	6.685	74%		89%	11%	0%
<b>MAIS 2</b>	1.630	18%	69%	29%	71%	0%
<b>MAIS 3</b>	432	5%	18%	3%	90%	7%
<b>MAIS 4</b>	109	1%	5%	1%	72%	27%
<b>MAIS 5</b>	94	1%	4%	0%	31%	69%
<b>MAIS 6</b>	102	1%	4%	0%	0%	100%
<b>Summe</b>	<b>9.052</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>71%</b>	<b>26%</b>	<b>3%</b>
<i>DESTATIS 2003</i>				<i>80%</i>	<i>18%</i>	<i>1%</i>

In Tabelle 36 (rechts) ist der Zusammenhang zwischen dem Verletzungsschweregrad und der Dauer der klinischen Behandlung bzw. der Letalität dargestellt. Leichtverletzte Personen, nach der anatomisch orientierten Definition, werden in der Gruppe der MAIS 1 Verletzten zu 11 % und in der Gruppe der MAIS 2 Verletzten Personen zu 71 % in einer Klinik stationär behandelt, während nach dieser Definition Schwerverletzte Personen fast immer stationär behandelt werden müssen oder innerhalb von 30 Tagen nach dem Unfall versterben. 23 % der nach der anatomisch orientierten Definition leichtverletzten Personen werden nach der versorgungsorientierten Definition als Schwerverletzter gezählt, während nahezu alle nach der anatomisch orientierten Definition Schwerverletzten Personen nach der versorgungsorientierten Definition als Schwerverletzter oder getötet gewertet werden.

Ein Vergleich der Verteilung der Verletzungsschweregrade innerhalb der GIDAS-Datenbank mit der Bundesstatistik ist auf der Grundlage der versorgungsorientierten Definition möglich. Die letzte Zeile in Tabelle 36 (DESTATIS 2003) zeigt die Verteilung zwischen leicht- und Schwerverletzten sowie getöteten Personen für gesamt Deutschland im Jahr 2003. In der GIDAS-Datenbank ist ein höherer Anteil an Schwerverletzten und getöteten Personen enthalten als in der Bundesstatistik. Dieser Unterschied kann entweder durch eine ungleiche Verteilung der Verletzungsschweregrade in den Erhebungsgebieten gegenüber gesamt Deutschland oder durch eine nicht vollstän-

dige Erfassung der ambulant behandelten Personen in der GIDAS-Datenbank erklärt werden. Es liegt nahe, dass Verkehrsunfälle mit leichten Verletzungen nicht immer zu einer Erstmeldung an die Rettungsdienste oder Polizei führen und somit auch nicht in der GIDAS-Stichprobe berücksichtigt werden können, aber in die Bundesstatistik aufgenommen werden.

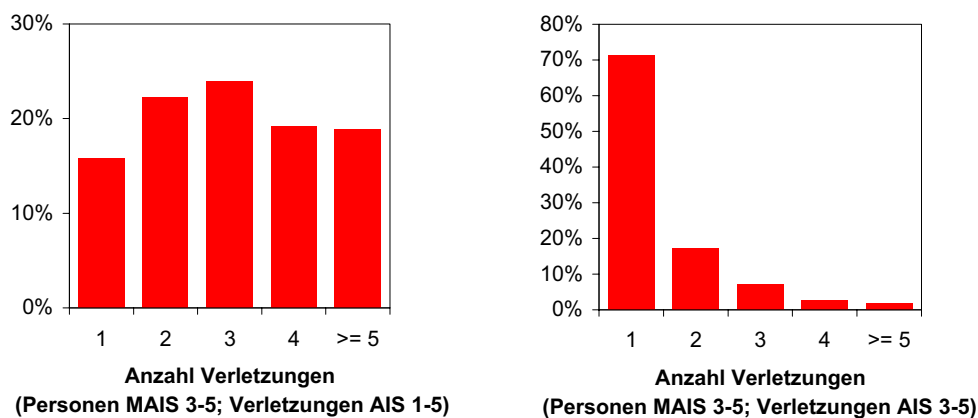


**Abb. 37.** Verteilung der Verletzungsschweregrade nach anatomisch (links) und physiologisch (rechts) orientierter Definition für leicht- und schwerverletzte Personen

Die Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen ist nur in der Gruppe der MAIS 3 bis 5 verletzten Personen für die Erhöhung der Überlebenschance von Relevanz, da in der Gruppe der Leichtverletzten (MAIS 1 und 2) kein Letalitätsrisiko besteht und Personen mit MAIS 6 Verletzungen unabhängig von der Behandlung versterben. Die Gruppe der MAIS 3 bis 5 Verletzten repräsentiert 7% aller verletzten Personen nach Straßenverkehrsunfällen. Die durchschnittliche Letalität beträgt in dieser Gruppe 19,7%. Für Leichtverletzte (MAIS 1 und 2) können richtig durchgeführte Erste-Hilfe-Maßnahmen zwar nicht zu einer Erhöhung der Überlebenschance führen, doch die Behandlungsdauer verkürzen und die Lebensqualität erhöhen.

Für die telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen ist die Anzahl der Verletzungen einer Person von Bedeutung, da i. d. R. jede Verletzung durch eine andere Maßnahme behandelt werden muss. Bei Personen mit vielen Verletzungen muss sich der Laie auf die Verletzungen mit der höchsten vitalen Gefährdung konzentrieren. Werden alle verletzten Personen (MAIS 2 bis 6) und alle Verletzungen betrachtet, hat jede Person im Durchschnitt 2,7 Verletzungen. Die Abbildung 38 zeigt die Häufigkeit der schwerverletzten Personen (MAIS 3 bis 5) in Abhängigkeit von der Anzahl an Verletzungen. Auf der linken Seite der Abbildung wurden alle Verletzungen mit den Schweregraden AIS 1 bis 5 berücksichtigt, auf der rechten Seite wurden nur schwere Verletzungen (AIS 3 bis 5) in die Auswertung einbe-

zogen. Insgesamt 62% der schwerverletzten Personen haben drei und mehr Verletzungen. Der größte Anteil der Personen (71%) hat allerdings nur eine schwere Verletzung, 17% haben zwei und nur 11% haben drei und mehr schwere Verletzungen. Bei der Versorgung von schwerverletzten Personen durch Laien ist es demnach von Bedeutung, dass diese die schweren Verletzungen von den leichten differenzieren können. In den meisten Fällen liegt dann nur noch eine Verletzung vor, die mit höchster Priorität behandelt werden muss.



**Abb. 38.** Anzahl der Verletzungen pro Person bei MAIS 3 bis 5 verletzten Personen ( $n=635$ ) bei Berücksichtigung aller Verletzungen (links) und nur bei Berücksichtigung der schweren Verletzungen AIS 3 bis 5 (rechts)

Um einen Überblick über die typischen Verletzungen nach Straßenverkehrsunfällen zu erhalten, wurden die in der GIDAS-Datenbank erfassten Verletzungen so gruppiert, dass sie innerhalb einer Gruppe für Laien das gleiche Erscheinungsbild zeigen und durch gleiche Erste-Hilfe-Maßnahmen versorgt werden müssen. In der Tabelle 37 ist die Häufigkeit der einzelnen Verletzungen gemäß der durchgeführten Gruppierung für alle schwerverletzten Personen (MAIS 3 bis 5) dargestellt. Jede Verletzungsgruppe wurde in leichte (AIS 1 und 2) und schwere Verletzungen (AIS 3 bis 5) unterteilt.

Die Auswertung zeigt, dass sich die schweren Verletzungen auf vier unterschiedliche Verletzungsarten konzentrieren<sup>57</sup>: 41% der schwerverletzten Personen haben eine schwere knöchernen Verletzung am Bein, 29% haben eine schwere innere Brustkorbverletzung, 29% haben eine schwere Schädel-Hirn-Verletzung und 11% eine schwere knöchernen Verletzung am Arm. Die leichten Verletzungen der schwerverletzten Personen, die bei mehr als 10% der Personen auftreten, verteilen sich auf sechs unterschiedliche Verletzungsarten: Gesichtsverletzung (28%), Haut- und Weichteilverletzung am Bein

<sup>57</sup> Diese Verletzungsarten treten bei mehr als 10% der schwerverletzten Personen auf.

(23%), Haut- und Weichteilverletzung am Arm (21%), knöcherne Verletzung am Arm (20%), äußere Kopfverletzung (16%) und Gehirnerschütterung (15%).

**Tabelle 37.** Häufigkeit der Verletzungsgruppen in Abhängigkeit von der Stärke der Verletzung bezogen auf alle MAIS 3 bis 5 verletzten Personen

Verletzungsgruppe	ID	AIS1-2 (L)		AIS3-5 (H)		AIS1-5	
		n	[%]*	n	[%]*	n	[%]*
äußere Kopfverletzung	120	101	16%	10	2%	111	17%
Schädel-Hirn-Verletzung	121	6	1%	183	29%	189	30%
Gehirnerschütterung	122	93	15%	0	0%	93	15%
Bewusstseinsstörung (SHT)	123	13	2%	23	4%	36	6%
Gesichtsverletzung	220	180	28%	15	2%	195	31%
äußere Halsverletzung	320	8	1%	0	0%	8	1%
innere Halsverletzung	321	3	0%	3	0%	6	1%
äußere Brustkorbverletzung	420	47	7%	3	0%	50	8%
innere Brustkorbverletzung	421	34	5%	183	29%	217	34%
äußere Bauchverletzung	520	30	5%	1	0%	31	5%
innere Bauchverletzung	521	19	3%	48	8%	67	11%
Verletzung WS, periphere Nervenbahnen	620	31	5%	32	5%	63	10%
Haut- und Weichteilverletzung Arm	720	133	21%	3	0%	136	21%
knöcherne Verletzung am Arm	721	126	20%	67	11%	193	30%
massive Armverletzung, Amputation	722	0	0%	2	0%	2	0%
Haut- und Weichteilverletzung Bein	820	148	23%	16	3%	164	26%
knöcherne Verletzung am Bein	821	59	9%	261	41%	320	50%
Fraktur Becken	822	47	7%	45	7%	92	14%
massive Beinverletzung, Amputation	823	2	0%	9	1%	11	2%
Hautverletzung allgemein	920	7	1%	0	0%	7	1%
Verbrennungen	921	1	0%	2	0%	3	0%
sonstige unbehandelbare Verletzungen	922	0	0%	0	0%	0	0%

ausgewertete Fälle:  $n_{3,2}=635$ ; MAIS 3-5

n: Anzahl an Personen, bei denen die Verletzung mit dem entsprechenden Schweregrad aufgetreten ist

\* Prozent zeilenweise von Gesamtanzahl der Fälle

In Tabelle 38 sind die Verletzungen sortiert nach der Häufigkeit und bezogen auf die Summe aller leichten bzw. schweren Verletzungen dargestellt. Die Tabelle zeigt, dass 90% aller schweren Verletzungen auf die folgenden sieben unterschiedlichen Verletzungsarten entfallen (Tabelle 38, rechts): knöcherne Verletzung am Bein (26%), innere Brustkorbverletzung (20%), Schädel-Hirn-Verletzung (20%), knöcherne Verletzung am Arm (7%), innere Bauchverletzung (6%), Fraktur des Beckens (6%) und Verletzungen der Wirbelsäule (4%). Sollen bei der Entwicklung des Telemedizinsystems für 90% aller schweren Verletzungen spezifische Erste-Hilfe-Maßnahmen berücksichtigt werden, müssten die Maßnahmen auf die Erstversorgung dieser Verletzungen fokussiert werden. Werden ausschließlich die leichten Verletzungen betrachtet (Tabelle 38, links), zeigt sich, dass 90% aller leichten Verletzungen durch die ersten neun Verletzungsarten der Tabelle abgedeckt werden.

**Tabelle 38.** Häufigkeit der Verletzungsgruppen sortiert innerhalb der Gruppe aller MAIS 2 bis 6 verletzten Personen

Verletzungsgruppe	AIS1-2 (L)		Verletzungsgruppe	AIS3-5 (H)	
	n	[%] <sup>1</sup>		n	[%] <sup>2</sup>
Gehirnerschütterung	765	15%	knöchernen Verletzung am Bein	286	26%
Haut- und Weichteilverletzung Bein	681	13%	innere Brustkorbverletzung	219	20%
Gesichtsverletzung	652	13%	Schädel-Hirn-Verletzung	215	20%
knöchernen Verletzung am Arm	581	11%	knöchernen Verletzung am Arm	81	7%
Haut- und Weichteilverletzung Arm	562	11%	innere Bauchverletzung	68	6%
knöchernen Verletzung am Bein	438	8%	Fraktur Becken	60	6%
äußere Kopfverletzung	378	7%	Verletzung WS, periphere Nervenbahnen	40	4%
Verletzung WS, periphere Nervenbahnen	277	5%	Bewusstseinsstörung (SHT)	26	2%
innere Brustkorbverletzung	240	5%	Gesichtsverletzung	19	2%
äußere Brustkorbverletzung	199	4%	Haut- und Weichteilverletzung Bein	19	2%
Bewusstseinsstörung (SHT)	112	2%	massive Beinverletzung, Amputation	15	1%
äußere Bauchverletzung	88	2%	äußere Kopfverletzung	12	1%
Fraktur Becken	87	2%	innere Halsverletzung	8	1%
innere Bauchverletzung	52	1%	massive Armverletzung, Amputation	5	0%
äußere Halsverletzung	36	1%	Haut- und Weichteilverletzung Arm	4	0%
Schädel-Hirn-Verletzung	20	0%	äußere Brustkorbverletzung	3	0%
innere Halsverletzung	14	0%	äußere Bauchverletzung	2	0%
Hautverletzung allgemein	13	0%	Verbrennungen	2	0%
Verbrennungen	1	0%	Gehirnerschütterung	0	0%
			äußere Halsverletzung	0	0%
			Hautverletzung allgemein	0	0%
			sonstige unbehandelbare Verletzungen	0	0%

<sup>1</sup> Prozent von Gesamtanzahl der Verletzungen AIS1-2 (5.196)

<sup>2</sup> Prozent von Gesamtanzahl der Verletzungen AIS3-5 (1.084)

Für das Bild, das sich einem Erst-Helfer an der Unfallstelle zeigt, ist neben den anatomischen Verletzungen auch der pathophysiologische Zustand der verletzten Personen von Bedeutung. Unabhängig von der vorliegenden Verletzung ist für die Auswahl der erforderlichen Erste-Hilfe-Maßnahmen entscheidend, ob bei der Person Bewusstseinsstörungen, Bewusstlosigkeit, Atem- oder Kreislaufstörungen, Schockzeichen oder im Extremfall ein Herz-Kreislauf-Versagen vorliegen. Der pathophysiologische Zustand ist im Gegensatz zu den anatomischen Verletzungen nicht konstant, sondern wird vom zeitlichen Verlauf und den Interventionen der Erst-Helfer an der Unfallstelle beeinflusst. Idealerweise müsste dieser Zustand zum Zeitpunkt des Eintreffens des Erst-Helfers bekannt sein, um die erforderlichen Maßnahmen zu bestimmen. Aus organisatorischen Gründen kann in Unfalldatenbanken der pathophysiologische Zustand erst zum Zeitpunkt des Eintreffens der Rettungskräfte dokumentiert werden, so dass der Zustand der verletzten Personen zu diesem Zeitpunkt näherungsweise für die Darstellung der typischen Situation für einen Erst-Helfer am Unfallort herangezogen werden musste. Die Tabelle 39 zeigt die Häufigkeit der ausgewerteten pathophysiologischen Zustände bezogen auf verletzte Personen mit den Verletzungsschweregraden MAIS 2, MAIS 3 bis 5 und MAIS 2 bis 5.

**Tabelle 39.** Häufigkeit der pathophysiologischen Zustände

patho-physiologische Zustände	MAIS 2		MAIS 3-5		MAIS 2-5	
	n	[%] <sup>1</sup>	n	[%] <sup>2</sup>	n	[%] <sup>3</sup>
Bewusstseinsstörung (leichtes/ mittelschweres SHT nach GCS)	182	11%	123	19%	305	13%
Bewusstseinsstörung (schweres/ schwerstes SHT nach GCS)	3	0%	48	8%	51	2%
Bewusstlosigkeit (SHT)	26	2%	121	19%	147	6%
Bewusstlosigkeit	27	2%	19	3%	46	2%
Atemstörung	2	0%	39	6%	41	2%
Atemstillstand	1	0%	29	5%	30	1%
Kreislaufstörung	21	1%	47	7%	68	3%
Herz-Kreislauf-Versagen	1	0%	29	5%	30	1%
Schock	7	0%	31	5%	38	2%

<sup>1</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 2: 1.630)

<sup>2</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 3-5: 635)

<sup>3</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 2-5: 2.265)

Insgesamt 49% aller schwerverletzten Personen (MAIS 3 bis 5) wiesen eine Beeinträchtigung des Bewusstseinszustandes auf. Bei 27% lag eine Bewusstseinsstörung aufgrund eines Schädel-Hirn-Traumas vor. Die Bewusstseinsstörung resultierte bei 19% aus einem leichten bis mittelschweren Schädel-Hirn-Trauma ( $GCS \geq 8$  und  $\leq 12$ ) und bei 8% aus einem schweren Schädel-Hirn-Trauma ( $GCS < 8$ ).<sup>58</sup> Insgesamt 22% aller schwerverletzten Personen waren an der Unfallstelle bewusstlos. Die Ursache der Bewusstlosigkeit war bei 19% ein Schädel-Hirn-Trauma und bei 3% von anderer Art. In der Gruppe der leichtverletzten Personen wiesen 11% eine Bewusstseinsstörung infolge eines leichten bis mittelschweren Schädel-Hirn-Traumas auf, während nur 4% der Personen bewusstlos waren.

Atemstörungen wurden bei 6%, Kreislaufstörungen bei 7% und das Auftreten eines Schocks bei 5% der schwerverletzten Personen an der Unfallstelle beobachtet. Ein Herz-Kreislauf-Versagen mit Atemstillstand lag bei 5% der schwerverletzten Personen vor. Atem- und Kreislaufstörungen sowie Schockzeichen traten bei den leichtverletzten Personen nur selten auf.

## 4.2.2 Indizierte Erste-Hilfe-Maßnahmen

Aufbauend auf den Verletzungen und dem pathophysiologischen Zustand wurden für jede Person in der ausgewerteten Datenmenge die indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen bestimmt. Die indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen sind die Maßnahmen, die aus retrospektiver Betrachtung von einem Unfallzeugen hätten durchgeführt werden sollen. Bei

<sup>58</sup> GCS: Glasgow Coma Scale



der Bestimmung der indizierten Maßnahmen wurde nicht berücksichtigt, ob ein Laie in der Unfallsituation in der Lage gewesen wäre, die Verletzungen und den Zustand der Person zu erkennen und daraus die erforderlichen Erste-Hilfe-Maßnahmen abzuleiten. Da für die Bestimmung der indizierten Maßnahmen alle vorliegenden Verletzungen (AIS 1 bis 5) berücksichtigt wurden und nicht von jeder Verletzung eine vitale Gefährdung ausgeht, wurden die einzelnen Maßnahmen nach der Bedeutung (*lebensrettend* oder *wichtig*) für die Erstversorgung der Person bewertet (vgl. Kapitel 3.2.2).

**Tabelle 40.** Häufigkeit der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen, unabhängig von der Bedeutung für die vitale Gefährdung

Erste-Hilfe-Maßnahmen	MAIS 2		MAIS 3-5 ↓		MAIS 2-5	
	n	[%] <sup>1</sup>	n	[%] <sup>2</sup>	n	[%] <sup>3</sup>
Schockzeichen prüfen	1619	99%	635	100%	2254	100%
Vitalfunktionen überwachen	1619	99%	635	100%	2254	100%
Wärmeerhaltung	269	17%	635	100%	904	40%
Wundverband Bein	777	48%	435	69%	1212	54%
Atemwege freimachen	344	21%	366	58%	710	31%
Wundverband Kopf	674	41%	350	55%	1024	45%
Bein fixieren	368	23%	320	50%	688	30%
Wundverband Rumpf	410	25%	297	47%	707	31%
Arm hochlagern	743	46%	289	46%	1032	46%
Wundverband Arm	743	46%	289	46%	1032	46%
Schocklage	42	3%	286	45%	328	14%
Arm fixieren	435	27%	193	30%	628	28%
Bein hochlagern	507	31%	151	24%	658	29%
stabile Seitenlage (beinseitig erhöht)	4	0%	124	20%	128	6%
Rumpf fixieren	38	2%	121	19%	159	7%
Rückenlage (Flachlagerung)	319	20%	117	18%	436	19%
Lagerung mit erhöhtem Oberkörper	944	58%	75	12%	1019	45%
CPR	1	0%	36	6%	37	2%
bestehende Lagerung nicht verändern	60	4%	20	3%	80	4%
Rückenlage mit Knierolle	27	2%	13	2%	40	2%
Amputat sichern	4	0%	12	2%	16	1%
Brandverletzung versorgen	0	0%	3	0%	3	0%
beliebige Lagerung, nicht stehend	170	10%	0	0%	170	8%
Person sitzend lagern	4	0%	0	0%	4	0%
stabile Seitenlage	8	0%	0	0%	8	0%
stabile Seitenlage (kopfseitig erhöht)	41	3%	0	0%	41	2%

<sup>1</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 2: 1.630); <sup>2</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 3 bis 5: 635)

<sup>3</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 2-5: 2.265)

In Tabelle 40 ist für jede Maßnahme dargestellt, bei wievielen Personen diese Maßnahme indiziert war. Die verletzten Personen wurden nach ihrem maximalen Verletzungsschweregrad in die Gruppen MAIS 2, MAIS 3 bis 5 und MAIS 2 bis 5 eingeteilt. Die Tabelle ist absteigend nach der Häufigkeit der Maßnahmen in der Gruppe der MAIS 3 bis 5 verletzten Personen sortiert. In Tabelle 41 sind analog nur die als *lebensrettend* und in Tabelle 42 nur die als *wichtig* bewerteten Erste-Hilfe-Maßnahmen dargestellt.

Die Maßnahmen *Schockzeichen prüfen* und *Vitalfunktionen überwachen* waren bei fast allen schwerverletzten Personen mit der Bewertung *lebensrettend* und bei fast allen Leichtverletzten mit der Bewertung *wichtig* indiziert. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da diese beiden Diagnose-Maßnahmen zunächst von jedem Erst-Helfer durchgeführt werden sollten und der Ablauf aller weiteren Maßnahmen von den Ergebnissen dieser Erstdiagnose abhängen.

**Tabelle 41.** Häufigkeit der indizierten lebensrettenden Erste-Hilfe-Maßnahmen

Erste-Hilfe-Maßnahmen, lebensrettend	MAIS 2		MAIS 3-5 ↓		MAIS 2-5	
	n	[%] <sup>1</sup>	n	[%] <sup>2</sup>	n	[%] <sup>3</sup>
Schockzeichen prüfen	60	4%	610	96%	670	30%
Vitalfunktionen überwachen	60	4%	610	96%	670	30%
Atemwege freimachen	56	3%	339	53%	395	17%
Wundverband Bein	0	0%	276	43%	276	12%
Schocklage	4	0%	261	41%	265	12%
Wundverband Kopf	0	0%	194	31%	194	9%
stabile Seitenlage (beinseitig erhöht)	4	0%	124	20%	128	6%
Rückenlage (Flachlagerung)	3	0%	117	18%	120	5%
Lagerung mit erhöhtem Oberkörper	0	0%	75	12%	75	3%
Wundverband Arm	0	0%	71	11%	71	3%
Rumpf fixieren	0	0%	45	7%	45	2%
CPR	1	0%	36	6%	37	2%
Wärmeerhaltung	7	0%	33	5%	40	2%
bestehende Lagerung nicht verändern	0	0%	20	3%	20	1%
Rückenlage mit Knierolle	0	0%	13	2%	13	1%
Bein hochlagern	0	0%	9	1%	9	0%
Wundverband Rumpf	0	0%	4	1%	4	0%
Brandverletzung versorgen	0	0%	2	0%	2	0%
Arm hochlagern	0	0%	2	0%	2	0%
stabile Seitenlage (kopfseitig erhöht)	41	3%	0	0%	41	2%
stabile Seitenlage	8	0%	0	0%	8	0%
Amputat sichern	0	0%	0	0%	0	0%
Arm fixieren	0	0%	0	0%	0	0%
Bein fixieren	0	0%	0	0%	0	0%
beliebige Lagerung, nicht stehend	0	0%	0	0%	0	0%
Person sitzend lagern	0	0%	0	0%	0	0%

<sup>1</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 2: 1.630)

<sup>2</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 3 bis 5: 635)

<sup>3</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 2-5: 2.265)

Die *Wärmeerhaltung* als Maßnahme zur Schockvorbeugung war auch bei allen schwerverletzten Personen indiziert, sie wurde allerdings nur in 5% der Fälle als *lebensrettend* beurteilt. Diese Fälle entsprechen den Personen, bei denen der Schockzustand eingetreten ist. In allen anderen Fällen wurde die Maßnahme als *wichtig* bewertet. Bei den Leichtverletzten war diese Maßnahme bei 17% erforderlich und wurde in nur 7 Fällen aufgrund eines vorliegenden Schockzustandes als *lebensrettend* angesehen.

Die Sicherung der Atemwege (*Atemwege freimachen*) wurde bei allen Personen als indiziert gewertet, bei denen eine Bewusstseinsstörung, eine Atemstörung, ein Herz-

Kreislauf-Versagen, eine Schädel-Hirn-Verletzung, eine Gehirnerschütterung oder innere Hals- bzw. Brustkorbverletzungen vorlagen. Dies war bei 58% der schwerverletzten und bei 21% der leichtverletzten Personen der Fall. Die Maßnahme wurde bei fast allen Schwerverletzten, bei denen sie indiziert war auch als *lebensrettend* bewertet (53%), während sie bei fast allen Leichtverletzten mit entsprechender Indikation nur als *wichtig* beurteilt wurde.

**Tabelle 42.** Häufigkeit der indizierten wichtigen Erste-Hilfe-Maßnahmen

Erste-Hilfe-Maßnahmen wichtig	MAIS 2		MAIS 3-5 ↓		MAIS 2-5	
	n	[%] <sup>1</sup>	n	[%] <sup>2</sup>	n	[%] <sup>3</sup>
Wärmeerhaltung	262	16%	602	95%	864	38%
Bein fixieren	368	23%	320	50%	688	30%
Wundverband Rumpf	410	25%	293	46%	703	31%
Arm hochlagern	743	46%	287	45%	1030	45%
Wundverband Arm	743	46%	218	34%	961	42%
Arm fixieren	435	27%	193	30%	628	28%
Wundverband Bein	777	48%	159	25%	936	41%
Wundverband Kopf	674	41%	156	25%	830	37%
Bein hochlagern	507	31%	142	22%	649	29%
Rumpf fixieren	38	2%	76	12%	114	5%
Atemwege freimachen	288	18%	27	4%	315	14%
Schockzeichen prüfen	1559	96%	25	4%	1584	70%
Vitalfunktionen überwachen	1559	96%	25	4%	1584	70%
Schocklage	38	2%	25	4%	63	3%
Amputat sichern	4	0%	12	2%	16	1%
Brandverletzung versorgen	0	0%	1	0%	1	0%
Lagerung mit erhöhtem Oberkörper	944	58%	0	0%	944	42%
Rückenlage (Flachlagerung)	316	19%	0	0%	316	14%
beliebige Lagerung, nicht stehend	170	10%	0	0%	170	8%
bestehende Lagerung nicht verändern	60	4%	0	0%	60	3%
Rückenlage mit Knierolle	27	2%	0	0%	27	1%
Person sitzend lagern	4	0%	0	0%	4	0%
CPR	0	0%	0	0%	0	0%
stabile Seitenlage	0	0%	0	0%	0	0%
stabile Seitenlage (beinseitig erhöht)	0	0%	0	0%	0	0%
stabile Seitenlage (kopfseitig erhöht)	0	0%	0	0%	0	0%

<sup>1</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 2: 1.630)

<sup>2</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 3 bis 5: 635)

<sup>3</sup> Prozent von Anzahl Personen (MAIS 2-5: 2.265)

Fast die Hälfte aller schwerverletzten Personen (43%) wies eine schwere Verletzung am Bein auf (vgl. Tabelle 37). Der größte Teil davon hat eine knöcherne Verletzung am Bein (41%) erlitten. Dementsprechend wurde die Maßnahme *Wundverband am Bein* als wichtigste Maßnahme zur Wundversorgung bewertet. Diese Maßnahme ist bei insgesamt 69% aller Schwerverletzten und 48% aller Leichtverletzten erforderlich und wurde bei 43% der Schwerverletzten als *lebensrettend* bewertet. Die Maßnahmen *Wundverband Kopf*, *Wundverband Rumpf* und *Wundverband Arm* sind bei rund der Hälfte (55%, 47% und 46%) der schwerverletzten Personen indiziert. Als *lebensrettend* wurde der *Wundverband Kopf* bei 31% und der *Wundverband Arm* bei 11% der

schwerverletzten Personen eingeschätzt. Der *Wundverband Rumpf* wurde in nur 4 Fällen (1 %) als *lebensrettende* Maßnahme gewertet. Die Hochlagerung von Extremitäten wurde zwar in vielen Fällen als sinnvolle (*wichtige*) Maßnahme bewertet, doch in nur sehr wenigen Fällen wurde ihr die Bewertung *lebensrettend* zugewiesen. Diese Maßnahme kann als ergänzende Maßnahme zum Wundverband angesehen werden.

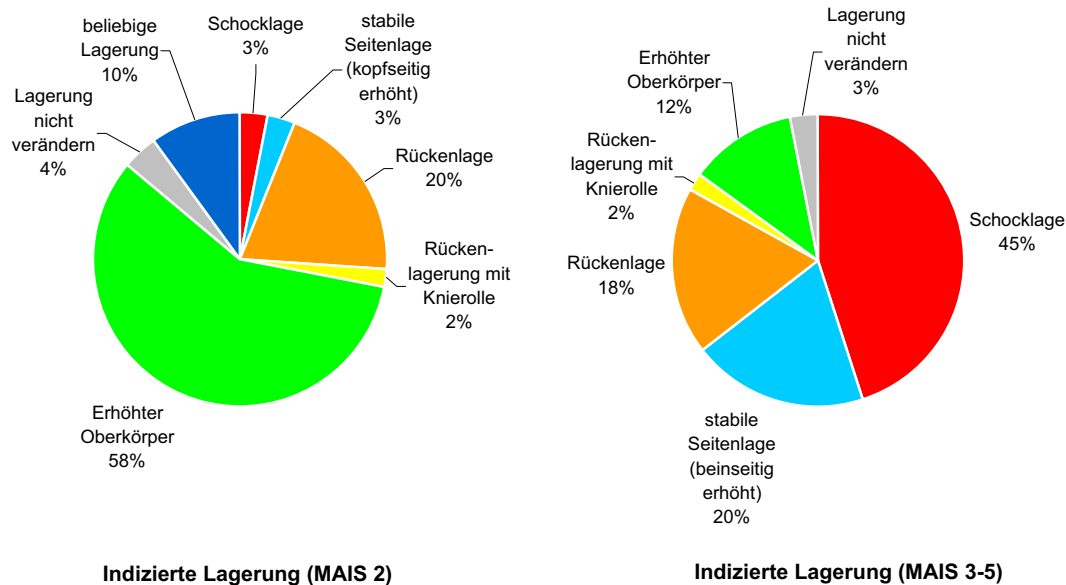
Eine Herz-Lungen-Wiederbelebung (Cardiopulmonary Resuscitation, CPR) war bei 6 % der Schwerverletzten und bei einer leichtverletzten Person indiziert. Im Vergleich zu dem gesamten Spektrum an Maßnahmen, die zur Erstversorgung der schwerverletzten Unfallopfer von Laien durchzuführen sind, war CPR damit nur relativ selten indiziert. Dennoch sollte die Bedeutung dieser Maßnahme nicht unterschätzt werden, da ihr Unterbleiben die Überlebensaussichten der Unfallopfer erheblich verringert.

Für jede Person wurde aufgrund der vorliegenden Verletzungen und ihres pathophysiologischen Zustandes die Art der indizierten Lagerung bestimmt. Die Abbildung 39 zeigt die relative Häufigkeit der indizierten Lagerungen getrennt nach leicht- und schwerverletzten Personen.<sup>59</sup>

In der Gruppe der schwerverletzten Personen war in fast der Hälfte der Fälle (45 %) aufgrund einer Schockgefahr die Schocklagerung erforderlich, während für die andere Hälfte der Fälle die stabile Seitenlagerung mit beinseitiger Erhöhung (20 %), die Rückenlage (18 %) und die Lagerung mit erhöhtem Oberkörper (12 %) indiziert waren. Verletzungen der Wirbelsäule traten bei Personen, die nicht unbedingt zur Sicherung der Vitalfunktionen in die stabile Seitenlage gebracht werden sollten, selten auf. In nur 3 % der Fälle sollte bei den Schwerverletzten die Lagerung zur Verhinderung weiterer Verletzungen nicht verändert werden. Bei schwerverletzten Personen wurde in insgesamt 96 % der Fälle die richtige Lagerung als *lebensrettend* beurteilt.

---

<sup>59</sup> Die Häufigkeit in Abbildung 39 entspricht den Werten der Tabelle 40.



**Abb. 39.** Art der indizierten Lagerung bei leichtverletzten (links) und schwerverletzten (rechts) Personen

Bei den leichtverletzten Personen spielt aufgrund der geringeren vitalen Gefährdung die richtige Lagerung eine geringere Rolle. Für den größten Anteil der Leichtverletzten (58%) war die Lagerung mit erhöhtem Oberkörper indiziert. In die Rückenlage sollten 20% und in eine beliebige Lagerung (nur nicht stehend) 10% der leichtverletzten Personen gebracht werden. Die anderen Lagerungsarten waren von untergeordneter Bedeutung.

#### 4.2.3 Vergleich zwischen indizierten und von Laien durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen

Zur Untersuchung des Status Quo der von Helfern tatsächlich durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen wurden für jede verletzte Person der ausgewerteten Datenmenge der GIDAS-Datenbank (Menge 4.1 mit 1.156 Personen) die ermittelten indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen den von Erst-Helfern durchgeführten Maßnahmen gegenübergestellt. In den Soll-/ Ist-Vergleich wurden 75,4% der verunglückten Personen einbezogen, bei denen ein Erst-Helfer anwesend war und eine Erste-Hilfe-Maßnahme (ggf. auch eine nicht weiter spezifizierte Maßnahme) durchgeführt hat. Bei der Gegenüberstellung wurde die Qualität der durchgeführten Maßnahmen nicht bewertet, da diesbezüglich in der GIDAS-Datenbank keine Informationen erfasst werden.

Die Tabelle 43 zeigt für jede Erste-Hilfe-Maßnahme, bei wievielen Personen sie mit der Bewertung *wichtig* oder *lebensrettend* indiziert und bei wievielen sie nicht indiziert (*nein*) war. Für diese drei Gruppen wurde die Häufigkeit der tatsächlichen Durchführung der jeweiligen Maßnahme ermittelt. In der Auswertung erfolgte wieder eine Unterscheidung zwischen leichtverletzten (MAIS 2) und schwerverletzten (MAIS 3 bis 5) Personen. Die Erste-Hilfe-Maßnahmen wurden so zusammengefasst, dass sie den in der GIDAS-Datenbank erfassten Maßnahmen entsprechen (vgl. Tabelle 15).

**Tabelle 43.** Gegenüberstellung der indizierten und durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen

Erste-Hilfe-Maßnahmen		MAIS 2						MAIS 3-5					
indiziert als		indiziert		durchgeführt			indiziert		durchgeführt				
		n	[%] <sup>1</sup>	n	[%] <sup>1</sup>	[%] <sup>2</sup>	n	[%] <sup>3</sup>	n	[%] <sup>3</sup>	[%] <sup>2</sup>		
Atemwege freimachen	wichtig	84	16%	1	0%	1%	8	3%	0	0%	0%		
	lebensrettend	29	5%	3	1%	10%	189	62%	22	7%	12%		
	nein	416	79%	0	0%	0%	108	35%	1	0%	1%		
CPR	wichtig	0	0%	0	0%	-	0	0%	0	0%	-		
	lebensrettend	1	0%	0	0%	0%	21	7%	12 (0;2) <sup>4</sup>	4%	57%		
	nein	528	100%	0	0%	0%	284	93%	6 (1;2) <sup>4</sup>	2%	2%		
Verband anlegen (Zusammenfassung)	wichtig	497	94%	103	19%	21%	63	21%	7	2%	11%		
	lebensrettend	0	0%	0	0%	-	236	77%	35	11%	15%		
	nein	32	6%	2	0%	6%	6	2%	0	0%	0%		
Schienung, Reposition (Zusammenfassung)	wichtig	258	49%	27	5%	10%	200	66%	19	6%	10%		
	lebensrettend	0	0%	0	0%	-	23	8%	2	1%	9%		
	nein	271	51%	4	1%	1%	82	27%	1	0%	1%		
stabile Seitenlage (Zusammenfassung)	wichtig	0	0%	0	0%	-	0	0%	0	0%	-		
	lebensrettend	28	5%	7	1%	25%	79	26%	24	8%	30%		
	nein	501	95%	19	4%	4%	226	74%	13	4%	6%		
Rückenlage (Zusammenfassung)	wichtig	110	21%	17	3%	15%	0	0%	0	0%	-		
	lebensrettend	1	0%	0	0%	0%	64	21%	12	4%	19%		
	nein	418	79%	63	12%	15%	241	79%	35	11%	15%		
Person sitzend lagern	wichtig	34	6%	7	1%	21%	0	0%	0	0%	-		
	lebensrettend	0	0%	0	0%	-	0	0%	0	0%	-		
	nein	495	94%	49	9%	10%	305	100%	14	5%	5%		

Auswertung einer Untermenge von 4.1 (n<sub>4.1</sub> = 1.156) mit Erst-Helfer aktiv (n = 872)

<sup>1</sup> Prozent von Fällen gesamt MAIS 2 (n = 529)

<sup>2</sup> Prozent von indiziert

<sup>3</sup> Prozent von Fällen gesamt MAIS 3-5 (n = 305)

<sup>4</sup> Erster Wert in der Klammer: Anzahl der Fälle, bei denen nur Herzmassage durchgeführt wurde;

Zweiter Wert in der Klammer: Anzahl der Fälle, bei denen nur Atemspende geleistet wurde

Werden zunächst nur die schwerverletzten Personen betrachtet, zeigt sich, dass die Maßnahme *Atemwege freimachen* von allen ausgewerteten Maßnahmen am häufigsten mit der Bewertung *lebensrettend* indiziert war. Diese Maßnahme wurde von Erst-Helfern aber nur in 12% der Fälle durchgeführt, bei denen eine entsprechende Indikation

vorlag. Diese erhebliche Abweichung ist möglicherweise auf die Schwierigkeit für Laien zurückzuführen, die Notwendigkeit der Sicherung der Atemwege zu erkennen. Eine Herz-Lungen-Wiederbelebung (CPR) war bei 7% der schwerverletzten Personen erforderlich und wurde bei 4% der Personen von einem Laien tatsächlich durchgeführt. D.h. bei mehr als der Hälfte der Personen (57%), bei denen eine CPR erforderlich war, wurde diese von Laien auch durchgeführt. Bei zwei Fällen wurde allerdings nur Atemspende ohne Herzmassage geleistet. Inwieweit in den anderen Fällen die Herz-Lungen-Wiederbelebung korrekt erfolgte, kann aufgrund fehlender Informationen über die Qualität der Maßnahmen nicht beurteilt werden. Auffällig ist jedoch, dass in 6 Fällen eine Herz-Lungen-Wiederbelebung von Laien durchgeführt wurde, obwohl diese nicht indiziert war. Dies lässt auf Defizite der Laien bei der Kontrolle der Vitalfunktionen schließen. Von Problemen der Laien bei der Durchführung der Puls- und Atemkontrolle wurde bereits in Literatur aus mehreren Studien berichtet [Reith1999, Bahr1997].

In der Maßnahme *Verband anlegen* sind sämtliche Maßnahmen zur Wundversorgung zusammengefasst. Bei 77% der Schwerverletzten wurde die Maßnahme als *lebensrettend* und bei 21% als *wichtig* bewertet. Ein Verband wurde aber in nur 15% der Fälle, in denen er *lebensrettend* gewesen wäre, von einem Erst-Helfer tatsächlich angelegt. Noch seltener (in 10% der Indikationen) wird eine Schienung oder Reposition von Laien durchgeführt. Dies lässt sich allerdings durch fehlende Hilfsmittel an der Unfallstelle erklären und ist auch für die Sicherung der Vitalfunktionen der Unfallopfer von geringerer Bedeutung.

In 30% der Fälle, in denen die Verletzten in der stabilen Seitenlage gelagert werden sollten, wurde die Notwendigkeit von den Laien erkannt und die Lagerung durchgeführt. Da die Indikation für die stabile Seitenlage prinzipiell von Laien einfach und eindeutig erkennbar ist, muss angenommen werden, dass den Erst-Helfern nicht klar ist, wann die stabile Seitenlage erforderlich ist, wie eine Person in diese Lagerung gebracht werden kann oder dass eine Hemmung zur Hilfeleistung besteht. Die Lagerung der Unfallopfer in der Rückenlage, die nur bei Bauchverletzungen und schweren Schädel-Hirn-Verletzungen durchgeführt werden sollte, wenn keine Bewusstlosigkeit vorliegt, erfolgte in 19% der Fälle, in denen diese Lagerung sinnvoll war. Allerdings wird diese Lagerung auch in 15% der Fälle gewählt, in denen sie nicht angebracht war. Ähnliches ist bei der Lagerung von verletzten Personen in einer sitzenden Position zu beobachten.

In der Gruppe der leichtverletzten Personen ist auffällig, dass ein Verband etwa doppelt so häufig bei der Indikation dieser Maßnahme angelegt wurde, als bei schwerverletzten Personen. Dies deutet auf eine Tendenz der Erst-Helfer zur Zurückhaltung bei der Versorgung von schweren Verletzungen hin.

#### 4.2.4 Relevanz einzelner Funktionen einer telemedizinischen Unterstützung

Der telemedizinische Notfallkoffer (TNK) soll als Bestandteil des Telemedizinsystems am Unfallort anwesenden Laien eine Hilfestellung bei der Durchführung der richtigen Erste-Hilfe-Maßnahmen bieten. In Zusammenarbeit mit einem Arzt/ Notarzt wurden 11 Grundfunktionen des TNK definiert, die Laien bei der Erkennung der Indikation und bei der Durchführung der Maßnahmen unterstützen können (vgl. Kapitel 3.2.4). Für jede Maßnahme wurde auf einer Skala von 0 bis 3 (0: nicht erforderlich, 1: hilfreich, 2: wichtig, 3: sehr wichtig) bewertet, wie wichtig eine Funktion für die Erkennung der Indikation und für die anschließende Durchführung der Maßnahme ist. Aus der Indikationshäufigkeit der einzelnen Maßnahmen (vgl. Kapitel 4.2.2) wurde für jede Person berechnet, ob eine Funktion des TNK zur Unterstützung von Laien bei der Versorgung der individuellen Verletzungen der Person erforderlich gewesen wäre und welche maximale Bedeutung sie dabei gehabt hätte.

In der Tabelle 44 ist die Relevanz der einzelnen Funktionen für die Erstversorgung aller verletzten Personen (MAIS 2 bis 6) dargestellt. Bei der Erstellung der Tabelle wurden alle indizierten Maßnahmen berücksichtigt. Für jede Funktion ist angegeben, bei wievielen Personen sie mit den entsprechenden Bewertungen erforderlich gewesen wäre. Tabelle 45 enthält analog zu Tabelle 44 die Einsatzhäufigkeit der einzelnen Funktionen, wobei nur die als *lebensrettend* indizierten Maßnahmen berücksichtigt wurden.

Die Tabelle 44 zeigt, dass die Audiokommunikation zwischen dem Erst-Helfer und dem telemedizinischen Call Center sowie die Messung und Übertragung der Herzrate und des Blutdrucks für die Versorgung fast aller verletzter Personen (100%) als *sehr wichtig* eingestuft wurde. Die Audiokommunikation mit geschultem ärztlichen Personal als Basisfunktion des TNK wurde für die Erkennung der Indikation und für die Durchführung der Maßnahmen *Schockzeichen prüfen*, *Vitalfunktionen überwachen*, *Atemwege freimachen* und *CPR* als *sehr wichtig* bewertet. Für alle anderen Maßnahmen wurde die Audiokommunikation als *wichtige* Grundfunktion des TNK angesehen. Die Messung der Herzrate über zwei Elektroden und die Messung des Blutdrucks über eine elektronische Blutdruckmanschette wurden als wesentliche Funktionen zur Unterstützung von Laien eingeschätzt. Die Messergebnisse sollen vom System in Echtzeit in das medizinische Call Center übertragen werden, so dass vom Call Center die Beurteilung der Schockgefahr und die Überwachung der Vitalfunktionen übernommen werden kann.



**Tabelle 44.** Relevanz der Grundfunktionen des TNK zur Unterstützung aller indizierten Maßnahmen

Grundfunktionen	Bewertung der Bedeutung der Funktionen zur Unterstützung der wichtigen und lebensrettenden Maßnahmen [Häufigkeit und Prozent*]					
	hilfreich (1)		wichtig (2)		sehr wichtig (3) ↓	
Audiokommunikation	0	0%	0	0%	2.356	100%
HR	0	0%	0	0%	2.356	100%
Blutdruck	0	0%	0	0%	2.356	100%
bildhafte Anleitung	0	0%	1.271	54%	1.085	46%
Videobilder	0	0%	2.088	88%	268	11%
EKG	0	0%	2.285	97%	71	3%
AED	0	0%	0	0%	71	3%
akustische Anleitung	0	0%	2.285	97%	71	3%
SPO <sub>2</sub>	2.285	97%	71	3%	0	0%
Puls (SPO <sub>2</sub> )	0	0%	2.356	100%	0	0%
Standbilder	0	0%	2.356	100%	0	0%

\* Prozent von Gesamtanzahl der Personen ( $n_{3,1}=2.367$ ; MAIS 2-6)

Eine Anleitung der Laien bei der Durchführung von Maßnahmen durch grafische Darstellungen auf dem Display des TNK (*bildhafte Anleitung*) hat sich bei knapp der Hälfte der Fälle (46%) als *sehr wichtige* Funktion herausgestellt. Bei allen anderen Fällen wurde die bildhafte Anleitung als *wichtig* bewertet. Diese Funktion war insbesondere dann *sehr wichtig*, wenn Maßnahmen durchgeführt werden mussten, die über eine grafische Darstellung am einfachsten und am schnellsten erklärt werden können (z.B. *Atemwege freimachen, stabile Seitenlage, Schockzeichen prüfen*).

Die Live-Übertragung von Videobildern von der Unfallstelle in das telemedizinische Call Center wäre in 11% *sehr wichtig* und in 88% der ausgewerteten Fälle eine *wichtige* Funktion des TNK gewesen. Die Übermittlung von Standbildern wurde in fast allen Fällen (100%) als *wichtige* Funktion eingeschätzt. Videobilder von der Unfallstelle wurden insbesondere für die Unterstützung des Laien bei der Erkennung von Verletzungen der Wirbelsäule als *sehr wichtige* Funktion angesehen. Aufgrund dieser Ergebnisse ist zu diskutieren, ob der erhöhte technische und organisatorische Aufwand für die Übertragung von Videobildern gerechtfertigt ist.

Eine Funktionskomponente des TNK zur Ableitung des EKG des Unfallopfers mit Übertragung der Daten in das Call Center zeigte sich in 97% als *wichtige*, aber in nur 3% der Fälle als *sehr wichtige* Funktion für die Überwachung der Vitalfunktionen. Das gleiche Ergebnis ergibt sich für die Funktion *akustische Anleitung*. Im TNK sollen dafür vordefinierte Sequenzen gesprochener Anleitungen für einzelne Aktionen, die der Laie ausführen soll, abgespeichert sein. Die Sprachsequenzen sollen vom telemedizinischen Call Center gestartet werden können.

Ein SPO<sub>2</sub>-Sensor (Finger- oder Ohrklippsensor) zur Messung der Blutsauerstoffsättigung der verletzten Person wurde für die telemedizinische Überwachung der Vitalfunktionen in 97% der Fälle als *hilfreich* und in nur 3% der Fälle als *wichtig* angesehen. Ausschlaggebend für diese Bewertung war die geringe Zuverlässigkeit der Sensoren bei Patienten, die sich im Schockzustand befinden und einen zentralisierten Kreislauf aufweisen. Aus gleichem Grund wurde die Messung des Pulses über den SPO<sub>2</sub>-Sensor in den meisten Fällen nur als *wichtig* eingeschätzt.

Der Einsatz eines Automatischen Externen Defibrillators (AED) kann bei bestimmten Formen des Herz-Kreislauf-Stillstandes (ventrikuläre Tachykardie/ ventrikuläre Fibrillation) die Überlebenswahrscheinlichkeit wesentlich steigern. Nach Straßenverkehrsunfällen liegen allerdings fast ausschließlich traumatische Verletzungen vor, so dass die Indikation einer Defibrillation nur selten gegeben war. Entsprechend selten (3%) wurde auch ein AED als Funktionskomponente des TNK als *sehr wichtig* gewertet.

Werden gemäß Tabelle 45 nur die als lebensrettend bewerteten Maßnahmen für die Bestimmung der Relevanz der einzelnen Grundfunktionen des TNK einbezogen, ergibt sich keine Änderung für die Bedeutung der einzelnen Funktionen. Deutlich wird, dass bei rund 30% der betrachteten verletzten Personen (MAIS 2 bis 6) der Einsatz eines TNK mit mindestens einer Funktionskomponente sich als *sehr wichtig* für die Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen herausgestellt hat.

**Tabelle 45.** Bewertung der Grundfunktionen des TNK (nur zur Unterstützung der lebensrettenden Maßnahmen)

Grundfunktionen	Bewertung der Bedeutung der Funktionen zur Unterstützung der lebensrettenden Maßnahmen [Häufigkeit und Prozent*]					
	hilfreich (1)		wichtig (2)		sehr wichtig (3) ↓	
Audiokommunikation	0	0%	0	0%	772	33%
HR	0	0%	0	0%	772	33%
Blutdruck	0	0%	0	0%	772	33%
bildhafte Anleitung	0	0%	30	1%	742	31%
Videobilder	0	0%	675	29%	97	4%
EKG	0	0%	701	30%	71	3%
AED	0	0%	0	0%	71	3%
akustische Anleitung	0	0%	701	30%	71	3%
SPO <sub>2</sub>	701	30%	71	3%	0	0%
Puls (SPO <sub>2</sub> )	0	0%	772	33%	0	0%
Standbilder	0	0%	772	33%	0	0%

\* Prozent von Gesamtanzahl der Personen ( $n_{3,1}=2.367$ ; MAIS 2-6)

## 4.2.5 Effekte der Laienhilfe

Zur Abschätzung der erzielbaren Effekte einer telemedizinischen Unterstützung von Laien wurde auf der empirischen Grundlage der GIDAS-Datenbank eine retrospektive Untersuchung des Einflusses von Erste-Hilfe-Leistungen durch Unfallzeugen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit durchgeführt. Für die Analyse wurde betrachtet, ob zur Versorgung der Verletzten ein Erst-Helfer aktiv war und Maßnahmen durchgeführt hat. Nicht bewertet wurde, ob die Erste-Hilfe-Maßnahmen indiziert waren und in ausreichender Qualität durchgeführt wurden.

Vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes war im Durchschnitt über alle ausgewerteten Fälle der GIDAS-Datenbank bei 75 % der verletzten Personen ein Erst-Helfer aktiv. In den verbleibenden Fällen war niemand anwesend oder keiner der Unfallzeugen hat die Initiative ergriffen, Erste-Hilfe-Leistungen durchzuführen. Die Tabelle 46 und die Abbildung 40 zeigen den Anteil der Fälle mit Erste-Hilfe-Leistungen in Abhängigkeit von dem Verletzungsschweregrad der Unfallopfer.

**Tabelle 46.** Erste-Hilfe-Leistung in Abhängigkeit vom Verletzungsschweregrad

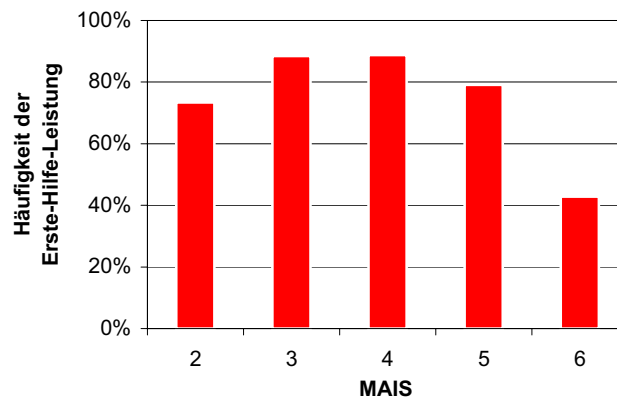
Verletzungsschweregrad	Erste-Hilfe				Gesamt
	nein	[%]*	ja	[%]*	
MAIS 2	201	27%	553	73%	754
MAIS 3	28	12%	215	88%	243
MAIS 4	10	11%	79	89%	89
MAIS 5	14	21%	53	79%	67
MAIS 6	52	57%	39	43%	91
<b>Gesamt</b>	305	25%	939	75%	1244

ausgewertete Fälle ( $n_{s,1} = 1.244$ ); \* Prozent MAIS

Chi-Quadrat nach Pearson: Wert = 85,3; df = 4;

asymptotische Signifikanz (2-seitig) < 0,001

Zwischen der Häufigkeit von Erste-Hilfe-Leistungen und dem Verletzungsschweregrad zeigt sich ein nicht-monotoner Zusammenhang. Mit steigendem Verletzungsschweregrad von mäßigen (MAIS 2) bis ernsten, aber nicht lebensbedrohlichen Verletzungen (MAIS 3), steigt zunächst die Häufigkeit von Erste-Hilfe-Leistungen von 73 % auf 88 % signifikant an (T-Test, homogene Varianzen:  $\alpha = 0,01$ ;  $p < 0,000$ ). Zwischen den Gruppen von Personen mit ernsten (MAIS 3) und schweren Verletzungen (MAIS 4) ändert sich die Häufigkeit von Erste-Hilfe-Leistungen kaum (T-Test, homogene Varianzen:  $\alpha = 0,01$ ;  $p = 0,942$ ). Sie fällt anschließend bei Personen mit kritischen Verletzungen (MAIS 5) wieder auf 79 % und bei Personen mit tödlichen Verletzungen (MAIS 6) auf 43 % signifikant ab (T-Test, homogene Varianzen:  $\alpha = 0,01$ ;  $p < 0,000$ ).



**Abb. 40.** Erste-Hilfe-Leistung in Abhängigkeit vom Verletzungsschweregrad

Mit der Annahme, dass die Anwesenheit eines Erst-Helfers vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes unabhängig vom Verletzungsschweregrad ist, kann der beobachtete Zusammenhang auf das Erst-Helfer-Verhalten zurückgeführt werden: Bei Personen mit nur mäßigen Verletzungen ist die Notwendigkeit zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen für Laien weniger offensichtlich und bei Personen mit sehr schweren Verletzungen gewinnen die Einflussfaktoren, die zur Unterlassung von Hilfeleistungen führen, eine zunehmende Bedeutung.

Der Zusammenhang zwischen Erste-Hilfe-Leistungen und dem Verletzungsschweregrad der Unfallopfer muss bei der Untersuchung des Einflusses der Erste-Hilfe auf die Überlebenswahrscheinlichkeit berücksichtigt werden. In die Datenmenge, die für diese Untersuchung ausgewertet wurde, wurden nur Personen einbezogen, deren Verletzungsschweregrad zwischen MAIS 3 und 5 liegt, da nur in dieser Gruppe ein Einfluss der Erste-Hilfe-Leistungen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit zu erwarten ist. In dieser Gruppe nimmt die Häufigkeit von Erste-Hilfe-Leistungen mit zunehmendem Verletzungsschweregrad monoton ab (vgl. Abb. 40). Ein gleichgerichteter Zusammenhang ist zwischen der Überlebenswahrscheinlichkeit und dem Verletzungsschweregrad zu beobachten. Die Tabelle 47 zeigt die Überlebenswahrscheinlichkeit bzw. Letalität in Abhängigkeit von den maximalen Verletzungen der Unfallopfer. Diese beiden Abhängigkeiten führen dazu, dass die bivariate Analyse der Korrelation zwischen Erste-Hilfe-Leistung und Überlebenswahrscheinlichkeit nicht den direkten Zusammenhang zwischen den beiden Variablen widerspiegelt. Aus diesem Grund wurde neben einer bivariaten Betrachtung auch eine multivariate Analyse des Zusammenhangs durchgeführt. Dabei wurden neben der Variable *Erste-Hilfe* weitere Kontrollvariablen einbezogen, die einen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit ausüben.

**Tabelle 47.** Letalitätsverteilung in Abhängigkeit vom Verletzungsschweregrad

Letalität	MAIS 2		MAIS 3		MAIS 4		MAIS 5		MAIS 6		MAIS 2-6	
	n	[%]*	n	[%]*	n	[%]*	n	[%]*	n	[%]*	n	[%]*
überlebt	752	99,7%	226	93%	65	73%	21	31%	0	0%	1064	86%
verstorben	2	0,3%	17	7%	24	27%	46	69%	91	100%	180	14%
Gesamt	754	100%	243	100%	89	100%	67	100%	91	100%	1244	100%

ausgewertete Fälle ( $n_{5,1} = 1.244$ ); \* Prozent MAIS

Chi-Quadrat nach Perason: Wert = 841,9; df = 4; asymptotische Signifikanz (2-seitig) < 0,001

## Bivariate Analyse

Zur Analyse des bivariaten Zusammenhangs der Variable *Erste-Hilfe* und der Kontrollvariablen mit der abhängigen Variable *Tod* wurden die Korrelationskoeffizienten nach *Spearman Rho* berechnet (Tabelle 48). Die Variablen *Tod*, *Erste-Hilfe*, *Geschlecht*, *Polytrauma* und *GCS (gruppiert)* weisen ein nominal binäres Skalenniveau auf und sind gemäß Tabelle 17 dichotom kodiert. Die Variablen *Alter*, *Alter<sup>2</sup>*, *ISS* und *therapiefreies Intervall* werden als metrisch skalierte und die Variablen *MAIS* und *GCS* werden als ordinal skalierte Größen interpretiert. Um den nicht-linearen Einfluss des Alters zu berücksichtigen, wurde die Variable zusätzlich quadriert aufgenommen. Zwischen den Variablen *Erste-Hilfe*, *Alter*, *Alter<sup>2</sup>*, *MAIS*, *ISS*, *Polytrauma*, *GCS*, *GCS (gruppiert)* und der abhängigen Variable *Tod* zeigt sich ein hoch signifikanter Zusammenhang. Die Variablen *Geschlecht* und *therapiefreies Intervall* üben in der bivariaten Analyse keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit aus.

**Tabelle 48.** Nicht-parametrische Korrelationskoeffizienten nach *Spearman Rho* mit der Variable *Tod*

	Korrelationskoeffizient	Sig. (2-seitig)
Tod	1,000	
Erste-Hilfe	** -0,156	0,002
Geschlecht	0,018	0,729
Alter	** 0,141	0,005
Alter <sup>2</sup>	** 0,141	0,005
MAIS	** 0,510	0,000
ISS	** 0,495	0,000
Polytrauma	** 0,273	0,000
GCS	** -0,570	0,000
GCS (gruppiert)	** -0,533	0,000
therapiefreies Intervall	-0,042	0,602

\*\* Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant (2-seitig).

Die Variable *Erste-Hilfe* weist einen negativen Korrelationskoeffizienten auf, der darauf hindeutet, dass bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen die Überle-

benswahrscheinlichkeit der Unfallopfer ansteigt. Diese Korrelation kann neben der positiven Wirkung von Erste-Hilfe-Leistungen allerdings auch durch den oben beschriebenen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Durchführung von Erste-Hilfe-Leistungen und dem Verletzungsschweregrad hervorgerufen werden. Zwischen dem Alter der Unfallopfer und den unabhängigen Variablen, die den Verletzungsschweregrad beschreiben (*MAIS*, *ISS*, *Polytrauma*), zeigt sich eine positive Korrelation: Mit steigendem Alter und steigendem Verletzungsschweregrad sinkt die Überlebenswahrscheinlichkeit. Der Korrelationskoeffizient zwischen den Variablen, die den Bewusstseinszustand beschreiben (*GCS*, *GCS (gruppiert)*), und der abhängigen Variable *Tod* ist negativ. Da diese Variablen mit steigender Ausprägung für eine geringere Beeinträchtigung des Bewusstseinszustandes stehen, deutet der Korrelationskoeffizient in diesem Fall auch auf eine steigende Überlebenswahrscheinlichkeit hin.

### Multivariate Analyse

Um den Einfluss mehrerer Variablen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen, wurde eine multivariate Analyse auf Basis der logistischen Regression durchgeführt (vgl. Kapitel 3.1.3.1). Zur Auswahl der Variablen, die zu einem bestmöglichen Modell für die Erklärung der abhängigen Variablen führen, wurde die automatische Modellsuche von *SPSS* eingesetzt, die ein stabiles Ergebnis lieferte. In Tabelle 49 sind die in das Modell einbezogenen Variablen mit den Regressionskoeffizienten (B), den Standardfehlern (SERR), Signifikanzen (Sig.) und 95%-Konfidenzintervallen (95% CI) sowie den Effekt-Koeffizienten (Exp(B)) dargestellt.

**Tabelle 49.** Einflussfaktoren auf die Letalität (logistische Regression)

Variable	Regressionskoeffizient B	SERR	Sig.	EXP(B)	95% CI(EXP(B))	
Alter <sup>2</sup>	0,0003	0,000	0,000	1,000	1,000	1,001
ISS	0,091	0,017	0,000	1,095	1,060	1,132
GCS (gruppiert)	-2,414	0,426	0,000	0,089	0,039	0,206
Erste-Hilfe	-1,176	0,509	0,021	0,308	0,114	0,836
Konstante	-2,051	0,682	0,003	0,129		

abhängige Variable: Tod (0: überlebt; 1: verstorben)

Nagelkerkes R-Quadrat: 0,578

Zur Beurteilung der Güte des Gesamtmodells wurde die *Nagelkerke-R<sup>2</sup>*-Statistik berechnet, die den Anteil der erklärten Variation des gesamten logistischen Regressionsmodells quantifiziert. Der *Nagelkerke-R<sup>2</sup>*-Wert liegt bei 0,578 und spricht für eine sehr gute Anpassung des multivariaten Regressionsmodells. Als unabhängige Variablen wurden die Variablen *Alter<sup>2</sup>*, *ISS*, *GCS (gruppiert)* und Erste-Hilfe in das Modell einbezogen. Wie bereits aufgrund der bivariaten Analyse zu erwarten war, ist das Vorzeichen des Regressionskoeffizienten der Variablen *Alter<sup>2</sup>* und *ISS* positiv und der Variable *GCS*

(gruppiert) negativ. Für die Variable *Erste-Hilfe* ergibt sich ein negativer Regressionskoeffizient und dementsprechend ein Effekt-Koeffizient größer eins. Die Regressionskoeffizienten aller in das Modell einbezogenen Variablen sowie die Modell-Konstante sind auf dem Niveau von  $\alpha = 0,05$  signifikant.

Die Variable *Erste-Hilfe* verbleibt trotz der dargestellten Abhängigkeit vom Verletzungsschweregrad mit einem signifikanten und negativen Regressionskoeffizienten im Modell. Dies deutet auf eine tatsächlich positive Wirkung der Erste-Hilfe-Maßnahmen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit hin. Der Effekt-Koeffizient (*odds ratio*, OR) der Variable *Erste-Hilfe* beträgt  $OR = 0,308$ , d.h. wenn Erste-Hilfe geleistet wird, ändert sich das Verhältnis von Letalitäts- und Überlebenswahrscheinlichkeit (*odds*) um den Faktor 0,308. Für das umgekehrte Verhältnis (Überlebens- zu Letalitätswahrscheinlichkeit) beträgt der *odds ratio* entsprechend  $OR = 3,2$ .

Bei Anwendung des logistischen Regressionsmodells auf die Ausgangsdatenmenge ergibt sich eine durchschnittliche Letalitätswahrscheinlichkeit von 20,7%. Dieser Wert stimmt mit der tatsächlich beobachteten Letalitätswahrscheinlichkeit von 20,8% nahezu überein. Dabei wurde in 87,2% der ausgewerteten Fälle (MAIS 3 bis 5) Erste-Hilfe durch Unfallzeugen geleistet. Wenn von der idealisierten Annahme ausgegangen wird, dass durch den Einsatz des Telemedizinssystems in allen Fällen Erste-Hilfe geleistet werden würde, kann das logistische Regressionsmodell unter Berücksichtigung dieser Annahme auf die betrachteten Fälle neu angewendet werden. Die durchschnittliche Letalitätswahrscheinlichkeit fällt dann um 1,6% auf 19,3% ab. Dies entspricht einer Verringerung der getöteten Personen in der untersuchten Gruppe (MAIS 3 bis 5) um 7,5%.

Die getöteten Personen in der untersuchten Gruppe repräsentieren 48,9% aller nach Straßenverkehrsunfällen tödlich verunglückten Personen (vgl. Tabelle 47). Bei diesen Unfallopfern kann Erste-Hilfe die Letalität senken, da prinzipiell Verletzungen mit dem Schweregrad MAIS 3 bis 5 überlebt werden können. Bezogen auf das Jahr 2003 umfasst diese Gruppe 3.236 Personen pro Jahr.<sup>60</sup> Der Rest der getöteten Personen hat Verletzungen mit dem Schweregrad MAIS 6 erlitten, die definitionsgemäß nicht überlebbar sind. Eine Reduktion der getöteten Personen um 7,5% bezogen auf die Gruppe der MAIS 3 bis 5 Verletzten entspricht damit in Deutschland einer Reduzierung der tödlich Verunglückten um 243 Personen pro Jahr.

---

<sup>60</sup> Im Jahr 2003 wurden 6.618 Personen nach Straßenverkehrsunfällen getötet [DESTATIS2003].

Bei dieser Betrachtung wurde die Verbesserung der Qualität der Erste-Hilfe-Leistungen durch den Einsatz des Telemedizinssystems ausser Acht gelassen. Aufgrund der Analyse des Status Quo der Erste-Hilfe-Leistung von Laien kann davon ausgegangen werden, dass durch telemedizinisch verbesserte Erste-Hilfe-Maßnahmen die Letalitätswahrscheinlichkeit weiter gesenkt und damit die Überlebenswahrscheinlichkeit weiter gesteigert werden kann.

### **Letalitätsvergleich unter Berücksichtigung der Indikation und der Durchführung einzelner Maßnahmen**

Bei der Untersuchung des Einflusses der Erste-Hilfe-Leistung von Laien auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der Unfallopfer wurde nur betrachtet, ob ein Erst-Helfer am Unfallort anwesend war und ob von ihm irgendwelche Erste-Hilfe-Maßnahmen durchgeführt wurden. Es wurde nicht berücksichtigt, ob genau jene Maßnahmen durchgeführt wurden, die indiziert waren. Um dies einzubeziehen, wurden für jede Maßnahme die verletzten Personen in zwei Gruppen eingeteilt. Der ersten Gruppe wurden die Personen zugeordnet, bei denen die Maßnahme indiziert war und durch einen Erst-Helfer durchgeführt wurde. Der zweiten Gruppe (Kontrollgruppe) wurden die Personen zugeordnet, bei denen die Maßnahme indiziert war und nicht durchgeführt wurde. Die Letalitätsraten beider Gruppen wurden anschließend verglichen, um den Einfluss der Durchführung der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen auf das Überleben der Unfallopfer abzuschätzen. Die Tabelle 50 enthält die Ergebnisse für die Maßnahmen, die in der GIDAS-Datenbank erfasst wurden (vgl. Kapitel 4.2.3).

Es zeigt sich, dass bei den Maßnahmen *CPR*, *Verband anlegen*, *stabile Seitenlage* und *Schienung/ Reposition* tendenziell eine geringere Letalität vorliegt, wenn die indizierte Maßnahme vom Erst-Helfer durchgeführt wurde. Für statistisch belastbare Aussagen sind allerdings die Fallzahlen zu klein und es ist zu beachten, dass keine Kombinationen von Maßnahmen betrachtet wurden. Bei der Maßnahme *Atemwege befreien* ist die Letalität in der Gruppe, in der die Maßnahme durchgeführt wurde, größer als in der Kontrollgruppe. Dieser Effekt ist dadurch zu erklären, dass die Maßnahme *Atemwege befreien* vor allem dann durchgeführt wurde, wenn eine CPR indiziert war. In diesem Fall ist die Letalität erheblich höher als in den anderen Fällen, in denen die Maßnahme *Atemwege befreien* auch als indiziert gewertet wurde.



**Tabelle 50.** Letalitätsvergleich in Abhängigkeit der Durchführung von indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen

Maßnahmen	indiziert als	indiziert Gesamt <i>n</i>	Maßnahme durch Erst-Helfer nicht durchgeführt					Maßnahme durch Erst-Helfer durchgeführt				
			überlebt		verstorben		Σ	überlebt		verstorben		Σ
			<i>n</i>	[%]*	<i>n</i>	[%]*	<i>n</i>	<i>n</i>	[%]*	<i>n</i>	[%]*	<i>n</i>
CPR	wichtig	0	0	-	0	-	0	0	-	0	-	0
	lebensrettend	30	1	5%	18	95%	19	1	9%	10	91%	11
	nein	363	307	86%	52	14%	359	0	0%	4	100%	4
Atemwege freimachen	wichtig	12	12	100%	0	0%	12	0	-	0	-	0
	lebensrettend	254	161	70%	68	30%	229	10	40%	15	60%	25
	nein	127	125	99%	2	2%	126	1	100%	0	0%	1
Verband anlegen (gruppiert)	wichtig	84	59	79%	16	21%	75	9	100%	0	0%	9
	lebensrettend	298	194	76%	62	24%	256	35	83%	7	17%	42
	nein	7	6	86%	1	14%	7	0	-	0	-	0
stabile Seitenlage (gruppiert)	wichtig	0	0	-	0	-	0	0	-	0	-	0
	lebensrettend	90	45	73%	17	27%	62	21	75%	7	25%	28
	nein	298	229	80%	56	20%	285	10	77%	3	23%	13
Schienung, Reposition (gruppiert)	wichtig	255	184	79%	49	21%	233	21	95%	1	5%	22
	lebensrettend	27	15	60%	10	40%	25	2	100%	0	0%	2
	nein	117	89	77%	26	23%	115	1	50%	1	50%	2

ausgewertete Fälle:  $n_{6,2}=399$ ; MAIS 3-5; \* Prozent von Gruppensumme

Die Maßnahme *Atemwege freimachen* wurde in 16 von 26 Fällen durchgeführt, wenn CPR indiziert war.



## 5 Diskussion

Die verkehrspolitische Zielsetzung der Europäischen Kommission, bis zum Jahr 2010 die Anzahl der Verkehrstoten in den Ländern der Europäischen Union auf die Hälfte zu reduzieren, kann nur dann erreicht werden, wenn Maßnahmen in allen Bereichen - von der Vermeidung von Unfällen (Pre-Crash-Phase) über den Schutz der Insassen (Crash-Phase) bis hin zur Verbesserung der Versorgung von verletzten Personen (Post-Crash-Phase) - umgesetzt werden.

In Deutschland versterben jährlich rund 6.000 Personen an den Folgen von Verkehrsunfällen, rund 85.000 Personen werden schwer verletzt [DESTATIS2003]. Etwa die Hälfte der getöteten Personen wird bei Verkehrsunfällen so schwer traumatisiert, dass auch bei einer optimalen medizinischen Versorgung keine Überlebenschance besteht.<sup>61</sup> Dieser Anteil der Unfallopfer kann nur durch Maßnahmen reduziert werden, die zur Vermeidung von Unfällen beitragen oder die Insassen und die Unfallpartner besser schützen.

Die andere Hälfte der getöteten Personen erleidet jedoch Verletzungen, die prinzipiell überlebbar sind. Die Überlebenschance dieser Unfallopfer wird durch den Ablauf der präklinischen Notfallversorgung beeinflusst. Eine retrospektive Auswertung von *Hussain et al.* zeigte, dass in England ein großer Anteil der bei Verkehrsunfällen Getöteten noch vor der Einlieferung in ein Krankenhaus an einer Verlegung der Atemwege verstarb und durch eine schnelle und suffiziente Versorgung hätte gerettet werden können [Hussain1994]. Ein wichtiger Einflussfaktor für die Überlebenschance ist die Länge des therapiefreien Intervalls, in dem die Unfallopfer sich selbst überlassen sind und keine Hilfe erhalten. Diese Zeitspanne kann durch ein schnelleres Eintreffen des Rettungsdienstes oder durch eine suffiziente Erste-Hilfe von zufällig anwesenden Personen verkürzt werden. Schnelle und suffiziente präklinische Interventionen ermöglichen damit sowohl eine Verringerung der Anzahl der getöteten Personen als auch eine Verbesserung der Rehabilitationsaussichten von Schwerverletzten.

Die Verbesserung der präklinischen Notfallversorgung durch den Einsatz von telematischen und telemedizinischen Technologien stand im Mittelpunkt dieser Arbeit. Es wurde untersucht, wie

- die Disposition der Rettungsmittel durch eine telematische Prognose der Verlet-

---

<sup>61</sup> Die Auswertung der GIDAS-Datenbank hat gezeigt, dass 50,5% der getöteten Personen einen Verletzungsschweregrad von MAIS 6 aufweisen, der definitionsgemäß nicht überlebbar ist (vgl. Tab. 47).

zungsintensität der Fahrzeuginsassen in Kombination mit automatischen Notrufsystemen optimiert und

- eine suffiziente Erstversorgung durch eine telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen sichergestellt

werden können. Die Ergebnisse sollen es ermöglichen, ein ganzheitliches System für die Optimierung der präklinischen Notfallversorgung vom Unfall bis zum Eintreffen der Rettungskräfte an der Unfallstelle zu konzipieren. Diese Phase der präklinischen Notfallversorgung stellt allerdings nur einen Teil der gesamten Rettungskette dar. Aus diesem Grund sollten bei einer Weiterentwicklung des Systems zusätzliche Optimierungsmöglichkeiten durch telematische und telemedizinische Technologien in der präklinischen und klinischen Versorgung berücksichtigt werden.

## 5.1 Telematische Prognose der Verletzungsintensität

Vom Unfall bis zum Eingang eines Notrufs in der Rettungsleitstelle (Latenzzeit) vergehen in Deutschland im Mittel zwischen 5 und 10 Minuten [ZVEI1999, MUVBW1996]. Im Telefongespräch zwischen dem Unfallmelder und einem Disponenten in der Rettungsleitstelle müssen Informationen über den Ort des Unfalls, die Anzahl der verletzten Personen und deren vitale Gefährdung gewonnen werden. Die Gesprächsdauer beträgt rund 1 Minute [Puhan1994, MUVBW1996]. Auf der Grundlage dieses Meldebildes wird vom Disponenten innerhalb kürzester Zeit eine Entscheidung über die Art und Anzahl der erforderlichen Rettungsmittel getroffen. Dabei muss er für jede verletzte Person beurteilen, ob die Indikation für einen Notarzteinsatz vorliegt und ob technisches Bergungsgerät erforderlich ist. Als Hilfsmittel für die Dispositionsentscheidung liegen dem Disponenten ein Indikationskatalog für den Notarzteinsatz [BÄK2005] und i. d. R. ein Einsatzstichwortkatalog [BerlinerF2005] vor. Aus den Gesprächen mit den Unfalldemeldern können in vielen Fällen nur unvollständige Informationen über die Verletzungen und die vitale Gefährdung der Unfallopfer gewonnen werden, so dass die Dispositionsentscheidung teilweise auf der Grundlage eines unsicheren oder falschen Meldebildes getroffen werden muss. Daraus resultieren zwangsläufig Fehldispositionen: Entweder wird ein Notarzt disponiert, obwohl er tatsächlich nicht indiziert war (falsch positiv) oder es wird ein Rettungsmittel ohne Notarzt entsendet, obwohl ein Notarzt erforderlich gewesen wäre (falsch negativ). Auf der Grundlage der Untersuchungen von *Koppenberg et al.* [Koppenberg1997] und *Lenz et al.* [Lenz2000] konnten für die Dispositionsentscheidung eine Sensitivität von 78% und eine Spezifität von 84% errechnet werden (vgl. Kapitel 1.1.3.1).

Automatische Notrufsysteme ermöglichen eine Minimierung der Latenzzeit. Derartige Systeme wurden von fast allen Fahrzeugherstellern entwickelt und werden teilweise

als Sonderausstattungen angeboten. Bei einem Verkehrsunfall mit Auslösung eines Airbags werden die Systeme aktiviert und senden automatisch die Positionsdaten des Fahrzeuges gemeinsam mit weiteren PKW-Identifikationsdaten per Mobilfunk an einen zentralen Provider. Die Daten werden vom Provider verifiziert und an die zuständige Rettungsleitstelle übermittelt [TeleAid2005]. Die europaweite flächendeckende Einführung von automatischen Notrufsystemen ist ab 2009 als Teil der Initiative eSafety unter dem Namen eCall geplant [EU2003A, BVBW2003].

Es stellt sich nun die Frage, welche Dispositionsentscheidung beim Eingang einer automatischen Unfallmeldung in der Rettungsleitstelle getroffen werden soll. Um eine optimale Versorgung von verletzten Personen zu erzielen, müsste bei jedem Unfall, bei dem eine automatische Meldung generiert wird, ein notarztbesetztes Rettungsmittel entsendet werden. Bei einer flächendeckenden Ausstattung aller Fahrzeuge mit automatischen Notrufsystemen würde diese Einsatzstrategie allerdings zu einer Überlastung der verfügbaren Ressourcen im Rettungsdienst führen. Statistisch wird in Deutschland in ca. 50% aller Unfälle mit Personenschaden ein Airbag ausgelöst. Die Anzahl der Notarzteinsätze würde in Deutschland von derzeit ca. 120.000 Einsätzen pro Jahr [Schmiedel2002A] auf ca. 180.000 Einsätze pro Jahr ansteigen (Steigerungsrate 50%). Trotz der hohen Anzahl an Notarzteinsätzen würde diese Strategie für die Notarztindikationsentscheidung nur zu einer Sensitivität von rund 80% bei einer Spezifität von rund 50% führen.

Eine alternative Einsatzstrategie könnte darin bestehen, bei allen Unfällen, die automatisch gemeldet werden, zunächst nur ein nicht notarztbesetztes Rettungsmittel zu disponieren und ggf. die Nachforderung eines Notarztes abzuwarten. Damit könnte zwar das Problem der Ressourcenüberlastung gelöst, aber eine optimale Versorgung der Unfallopfer nicht erreicht werden. Bis zum Eintreffen des Notarztes an der Unfallstelle würde wertvolle Zeit verloren gehen und die Überlebenschancen der Unfallopfer sinken. Um dieses Entscheidungsproblem zu umgehen, wird in der eMerge-Rahmenarchitektur, die als Grundlage für die europaweite Einführung der Notrufsysteme zur Diskussion steht, die Aufnahme eines Sprachkontaktes zwischen Rettungsleitstelle und Fahrzeuginnenraum vorgesehen. Im Gespräch mit den Fahrzeuginsassen sollen Informationen über die Art des Unfalls, die Anzahl der verletzten Personen und ihre vitale Gefährdung abgefragt werden. Durch die Gesprächszeit verlängert sich aber wieder das therapiefreie Intervall und es ist fraglich, wie die Leitstelle reagieren soll, wenn kein Gespräch mit dem Fahrzeuginnenraum zustande kommt, weil die Insassen bewusstlos sind oder das Fahrzeug bereits verlassen haben.<sup>62</sup> Die Treffgenauigkeit des Meldebildes wird bei dieser Strategie der Genauigkeit entsprechen, die bei einer herkömmlichen Unfallmeldung erzielt wird.

Eine Disposition der Rettungsmittel nach einer automatischen Unfallmeldung, ohne ein Gespräch mit den Fahrzeuginsassen, wäre möglich, wenn mit der Unfallmeldung zuverlässige Informationen über die Verletzungsintensität der Fahrzeuginsassen in der Rettungsleitstelle vorliegen würden.

### 5.1.1 Verfahren zur Prognose der Verletzungsintensität

Eine Prognose der Verletzungsintensität der Fahrzeuginsassen kann durch die Auswertung von Daten der Fahrzeugsensorik erstellt werden. Dazu müssen u. a. Daten über den Unfallhergang im Fahrzeug automatisch erfasst und kurz nach der Kollision gemeinsam mit der automatischen Unfallmeldung an ein Prognosesystem übermittelt werden. In dieser Arbeit wurde untersucht, welche Verfahren für die Erstellung einer Prognose eingesetzt werden können und welche Prognosegüte mit unterschiedlichen Eingangsgrößen erzielt werden kann.

Systeme zur Prognose der Verletzungsintensität können auf zwei grundsätzlich unterschiedlichen Verfahren basieren. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden statistische Verfahren eingesetzt, die es ermöglichen, auf der Grundlage einer Stichprobe von Unfällen, für die sowohl die Eingangsgrößen als auch die Verletzungsintensität bekannt sind, für neue Unfälle eine Verletzungsprognose zu erstellen. Mit diesen Verfahren werden in einer Spezifikations- bzw. Lernphase zunächst mathematische oder logische Modelle erstellt, die für die Fälle der Stichprobe den Zusammenhang zwischen den Eingangsgrößen und der tatsächlichen Verletzungsintensität (Ausgangsgröße) möglichst fehlerfrei abbilden. Werden an den Modellen neue Eingangsgrößen angelegt, kann die Ausgangsgröße als Prognose berechnet werden. Ein Vorteil der statistischen Verfahren liegt darin, dass keine theoretischen Kenntnisse über die Mechanismen, die dem Zusammenhang zwischen den Eingangsgrößen und der Ausgangsgröße zugrunde liegen, erforderlich sind.<sup>62</sup> Da im Prognosemodell der Zusammenhang über einfache mathematische Gleichungen oder logische Ausdrücke beschrieben werden kann, ist für die Berechnung des Prognoseergebnisses nur ein minimaler Rechenaufwand erforderlich. Sehr viel größer ist der Aufwand für die Aufbereitung der Lernstichprobe und die Berechnung der

---

<sup>62</sup> Dieses Problem könnte durch die Übertragung der Daten von Sitzplatzbelegungssensoren in die Rettungsleitstelle gelöst werden. Ist mindestens ein Sitzplatz im Fahrzeug belegt und erhält der Disponent im Sprachkontakt mit dem Fahrzeuginnenraum keine Antwort, ist davon auszugehen, dass der Insasse bzw. die Insassen bewusstlos sind. Eine Voraussetzung für diesen Lösungsvorschlag ist allerdings, dass die Sensorik nach dem Unfall noch funktionsfähig ist.

<sup>63</sup> Je nach Art der statistischen Verfahren (z. B. Regressionsanalysen, Entscheidungsbauminduktion) können aus den spezifizierten Modellen Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen den Eingangsgrößen und der Ausgangsgröße gewonnen werden.

Modellparameter. Mit statistischen Verfahren können allerdings nur dann valide Prognoseergebnisse erzielt werden, wenn die Lernstichprobe in der Verteilung der Fälle die Grundgesamtheit repräsentiert. Fehlt beispielsweise in der Stichprobe eine bestimmte Art von Unfällen, für die später eine Prognose erstellt werden soll, können dafür keine sinnvollen Ergebnisse erzielt werden.

Alternativ zu den statistischen Verfahren können Simulationsverfahren genutzt werden, mit denen auf der Grundlage der Eingangsgrößen der Crash-Verlauf mit komplexen Modellen nachgebildet wird. Es kann daraus die Belastung einzelner Körperteile, über die die Verletzungsintensität der Insassen abschätzbar ist, berechnet werden. Diese Verfahren haben den Vorteil, dass keine Lernstichprobe für die Erstellung der Modelle erforderlich ist und damit auch für seltene Unfallkonstellationen eine Prognose möglich wird. Im Gegensatz zu den statistischen Verfahren erfordern die Simulationsmodelle eine exakte Kenntnis u. a. über den Fahrzeugaufbau, das Deformationsverhalten und über die Kinematik der Insassen in der Fahrgastzelle. Nachteilig ist bei diesen Modellen der hohe Rechenaufwand für die Lösung der numerischen Gleichungen, der bei den aktuell verfügbaren Rechenkapazitäten noch dazu führt, dass die Prognose zu spät für die Unterstützung der Dispositionsentscheidung vorliegen würde. Es müsste untersucht werden, wie die Modelle auf ungenaue oder unvollständige Eingangsgrößen reagieren und wie zuverlässig damit die Ergebnisse sind. Werden diese Probleme gelöst, kann wahrscheinlich mit Simulationsverfahren eine höhere Genauigkeit der Verletzungsprognose erzielt werden. Es wird sich dann zeigen, ob der hohe Aufwand für die Erstellung der Modelle und die Durchführung der Simulationen gerechtfertigt ist. Interessante Möglichkeiten könnten sich aus einer Kombination von statistischen Verfahren mit Simulationsverfahren ergeben. Vorstellbar ist, dass mit Simulationsverfahren eine Lernstichprobe für statistische Verfahren erzeugt wird, auf deren Grundlage einfache Prognosemodelle erstellt werden können. Damit wären die Probleme der unvollständigen und zu kleinen Stichproben für die Spezifikation der statistischen Modelle sowie das Problem der langen Rechenzeiten für die Simulationsmodelle gelöst [Issing2005A].

Als Ausgangsgröße der Prognosemodelle wurde eine binär codierte Variable mit den Ausprägungen *un-* bzw. *leichtverletzt* und *schwerverletzt* festgelegt. Die Klasseneinteilung zwischen *un-* bzw. *leichtverletzten* und *schwerverletzten* Insassen erfolgte auf der Grundlage des MAIS-Scores (0-2: *un-* bzw. *leichtverletzt* und 3-6: *schwerverletzt*). Der genutzte Score und die Klasseneinteilung der vorherzusagenden Variable entsprechen der Vorgehensweise von Malliaris *et al.* und Augenstein *et al.* bei der Entwicklung des URGENCY-Algorithmus [Malliaris1997, Augenstein2003]. Die Einteilung der vorherzusagenden Variable wurde so gewählt, dass aus der Prognose der Modelle eine Entscheidung über die Indikation eines Notarzteinsatzes direkt abgeleitet werden kann. Detaillierte Informationen über die genaue Verletzungsintensität des Unfallopfers und

die Art der Verletzungen sind für die Dispositionsentscheidung zunächst nicht erforderlich. Diese Informationen könnten allerdings für die Vorbereitung des anfahrenden Notarztes und die klinische Diagnose von inneren Verletzungen von Bedeutung sein. Für die Dispositionsentscheidung ist eher von Interesse, ob mit einer verletzten Person an der Unfallstelle zu rechnen und überhaupt der Einsatz des Rettungsdienstes erforderlich ist. Um diese Fragestellung zu berücksichtigen, müsste die Ausgangsgröße der Prognosemodelle in drei Stufen (*unverletzt*, *leichtverletzt*, *schwerverletzt*) eingeteilt werden. Zur Vereinfachung der Prognosemodelle wurde in dieser Arbeit nur das Zwei-Klassen-Problem untersucht.

Neben der Information über die Verletzungsintensität der Insassen ist für die Disposition technischer Rettungsmittel eine Information von der Unfallstelle über den Bedarf an technischem Bergungsgerät erforderlich. Das Prognosesystem müsste dementsprechend eine weitere Ausgangsgröße liefern, die die Indikation von technischem Bergungsgerät angibt. Analog der Vorgehensweise zur Spezifikation von Modellen für die Prognose der Verletzungsintensität, könnten Modelle für die Prognose der Indikation von technischem Bergungsgerät erstellt werden. Dazu müssten Lernstichproben zur Verfügung stehen, die neben den Eingangsgrößen auch Informationen über den Einsatz von technischem Bergungsgerät bzw. über eingeklemmte Insassen enthalten.

Die in dieser Arbeit verwendeten Lernstichproben wurden aus einer amerikanischen (NASS/CDS) und einer deutschen (GIDAS) Unfalldatenbank gewonnen. Für jeden erfassten Unfall wurden retrospektiv in den Datenbanken Informationen über das verunglückte Fahrzeug, den Unfallablauf und die Insassen erhoben. Ausgewählte Variablen aus den Datenbanken wurden in die Lernstichproben aufgenommen und damit als Eingangsgrößen für die Spezifikation der Prognosemodelle verwendet. Aus diesem Grund müssen im Praxiseinsatz des Prognosesystems die Daten der Fahrzeugsensorik so aufbereitet werden, dass sie in ihrer Definition den Variablen der Lernstichprobe entsprechen. Durch diese Aufbereitung der Daten gehen jedoch Informationen verloren, die für die Prognose genutzt werden könnten. Um dieses Problem zu lösen, müssen im Praxisbetrieb des Systems die tatsächlich bei einem Unfall von der Fahrzeugsensorik gemessenen Daten in einer Datenbank gemeinsam mit der retrospektiv bestimmten Verletzungsintensität der Insassen abgelegt werden. Diese Datenbank kann anschließend genutzt werden, um neue Prognosemodelle zu erstellen, die auch die tatsächlich gemessenen Daten als Eingangsgrößen nutzen. Mit einer wachsenden Größe der Datenbank würde durch eine dynamische Spezifikation von neuen Prognosemodellen die Güte der Modelle immer weiter ansteigen. Die organisatorische Herausforderung wird dabei sein, dass die tatsächliche Verletzungsintensität der Insassen vom Rettungsdienst erfasst und in die Datenbank übernommen wird.



Innerhalb der Gruppe der statistischen Prognoseverfahren bestehen wiederum unterschiedlichste Ansätze, die dem Bereich der klassischen multivariaten Statistik und dem Bereich des maschinellen Lernens zugeordnet werden können. In dieser Arbeit wurden die logistische Regression und die Entscheidungsbauminduktion eingesetzt. Die logistische Regression ist eines der wenigen Verfahren der klassischen multivariaten Statistik, die keine parametrischen Verteilungen der Eingangsgrößen voraussetzen und somit für die vorliegende Problemstellung eingesetzt werden können. Die Entscheidungsbauminduktion aus dem Bereich des maschinellen Lernens hat gegenüber Neuronalen Netzen, Genetischen Algorithmen oder Support-Vektor-Maschinen den Vorteil, dass die Entscheidungsregeln in den Modellen explizit vorliegen und vom Anwender nachvollzogen werden können. Inwieweit sich die Prognosegüte beim Einsatz von anderen Prognoseverfahren ändert, sollte in weiteren Untersuchungen auf der Grundlage der ausgewählten Eingangsgrößen betrachtet werden.

### **5.1.2 Eingangsgrößen, Prognosegüte und Dispositionsempfehlung**

Die Bedeutung des Einflusses einzelner Eingangsgrößen auf die Verletzungsintensität eines Insassen schwankt zwischen den unterschiedlichen Aufprallarten und zwischen den Sitzpositionen im Fahrzeug. Aus diesem Grund müssen für jede Aufprallart und jede Sitzposition separate Prognosemodelle entwickelt werden. Aus den Daten der Fahrzeugsensorik sind deshalb beim Eingang einer automatischen Unfallmeldung bei einem Provider zunächst die Aufprallart und die belegten Sitzpositionen im Fahrzeug zu ermitteln. Anschließend können die Daten an die Prognosemodelle für die vorliegende Aufprallart und die entsprechenden Sitzpositionen weitergeleitet und die Verletzungsintensität der Insassen bestimmt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur Prognosemodelle für die Frontalkollisionen und die Fahrersitzposition entwickelt. Damit wird bereits ein großer Anteil aller verunglückten Insassen abgedeckt. In Deutschland handelt es sich bei ca. 65% aller Unfälle um Frontalkollisionen und ca. 70% aller Insassen sind Fahrer.<sup>64</sup> Für alle anderen Aufprallarten (z.B. Seitenaufprall oder Heckaufprall) und verbleibenden Sitzpositionen können analog der genutzten Methodik weitere Prognosemodelle erstellt werden.

Auf der Basis der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank wurden mit der logistischen Regression und der Entscheidungsbauminduktion für unterschiedliche Gruppen von Eingangsgrößen Prognosemodelle entwickelt. Dabei wurden schrittweise weitere

---

<sup>64</sup> Eigene Auswertung GIDAS.

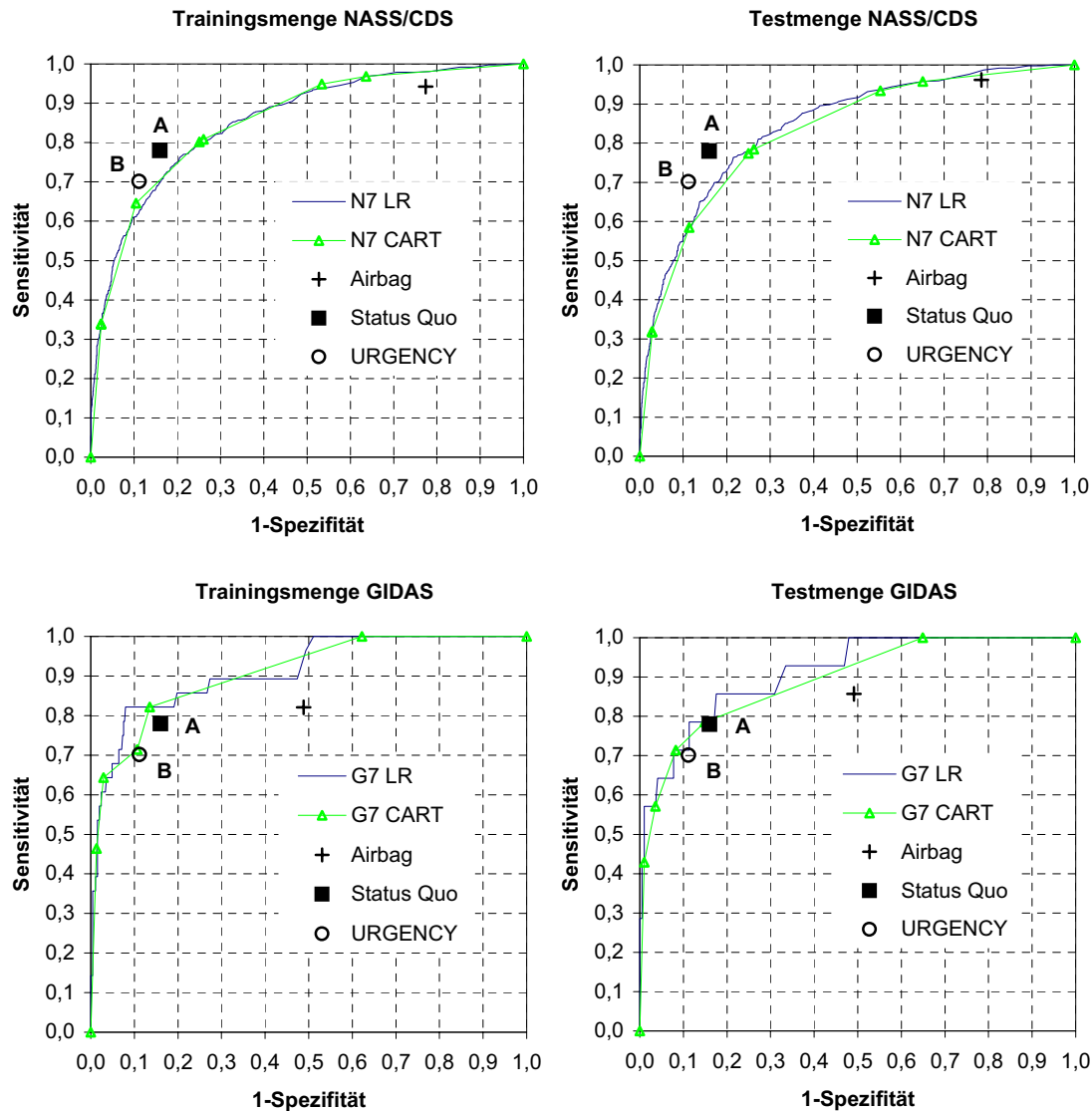
Eingangsvariablen hinzugenommen, um die Veränderung der Leistungsfähigkeit der Modelle zu untersuchen. Die Reihenfolge der hinzugefügten Eingangsvariablen wurde so gewählt, dass der technische Aufwand für die automatische Erfassung der Größen immer weiter ansteigt. Die Modelle wurden anschließend an einer zurückgehaltenen Datenmenge (Testmenge) der jeweiligen Datenbank validiert. Für die Darstellung und den Vergleich der Prognosegüte der Modelle wurden ROC-Analysen und die *Nagelkerke-R<sup>2</sup>*-Statistik eingesetzt.

Unabhängig von den gewählten Verfahren und den genutzten Datenbanken stieg die Prognosegüte der Modelle mit zunehmender Anzahl der Eingangsvariablen an. Ausgehend von Modellen, die nur die Geschwindigkeitsänderung bei der Kollision als Eingangsvariable enthielten (*dvttotal*), nahm die Modellgüte bei der Aufnahme von Eingangsgrößen, die durch die aktuell in den Fahrzeugen integrierte Sensorik gemessen werden können (z.B. Nutzung der Sicherheitsgurte, Auslösung des Airbags), deutlich zu. Ein weiterer Anstieg der Modellgüte war bei der Aufnahme von Variablen, die Informationen über die Deformation des Fahrzeuges liefern (z.B. maximale äußere Deformation, maximale Intrusion), zu beobachten. Wurden zuletzt Eingangsvariablen hinzugefügt, die die Insassenmerkmale beschreiben (z.B. Gewicht, Alter), stieg die Modellgüte nur noch geringfügig an. Es zeigte sich, dass Modelle mit den drei Eingangsvariablen Geschwindigkeitsänderung (*dvttotal*), Gurnutzung (*beltuse*) und maximale Intrusion an der betrachteten Sitzposition (*intrus*) zu einer vergleichbaren Prognosegüte führen, wie Modelle mit sieben und mehr einbezogenen Variablen.

Die Prognosegüte der Modelle, die an der GIDAS-Datenbank spezifiziert und getestet wurden, war tendenziell besser als die Güte der Modelle auf der Grundlage der NASS/CDS-Datenbank. Es wurde angenommen, dass der beobachtete Unterschied durch eine höhere Genauigkeit der GIDAS-Daten hervorgerufen wird: Spiegeln die in den Datenbanken erfassten Variablen die tatsächlichen Werte genau wider, kann auch eine genauere Prognose erstellt werden. Ob dies tatsächlich die Ursache ist, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend geklärt werden. Ein direkter Vergleich zwischen den Datenbanken ist auch nur eingeschränkt möglich, da sich die Anzahl der für die Auswertung zur Verfügung stehenden Fälle erheblich unterscheidet.

In Abbildung 41 ist der Verlauf der ROC-Kurven der Prognosemodelle auf Basis der logistischen Regression und der Entscheidungsbauminduktion mit den Eingangsvariablen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus* jeweils an der Trainings- bzw. Testmenge der NASS/CDS- und der GIDAS-Datenbank dargestellt. Zusätzlich ist in den Diagrammen das Sensitivitäts-Spezifitäts-Verhältnis der Dispositionsentscheidungen über die Indikation eines Notarztes, das auf der Grundlage von telefonischen Unfallmeldungen in Deutschland erzielt wird, als Punkt A eingezeichnet. Dieses Verhältnis wurde - wie bereits

beschrieben - aus den Ergebnissen der Untersuchungen von *Koppenberg et al.* [Koppenberg1997] und *Lenz et al.* [Lenz2000] berechnet (Sensitivität = 78%; Spezifität = 84%).



**Abb. 41.** Vergleich der Leistungsfähigkeit der Prognosemodelle mit der Dispositionsentscheidung im Status Quo für Deutschland (Punkt A) und mit der Prognosegüte des URGENCY-Algorithmus an der NASS/CDS-Datenbank (Punkt B)

Der Punkt A liegt fast auf den ROC-Kurven der Prognosemodelle auf der Grundlage der GIDAS-Datenbank (Abb. 41, unten). Damit führt die Dispositionsentscheidung auf der Grundlage des telefonisch übermittelten Meldebildes zu einem vergleichbaren Sensitivitäts-Spezifitäts-Verhältnis, wie eine Dispositionsentscheidung, die aus der automatischen Prognose der Verletzungsintensität abgeleitet wurde.<sup>65</sup> Dieser Vergleich macht

deutlich, dass eine automatische Unfallmeldung in Kombination mit der Prognose der Verletzungsintensität der Fahrzeuginsassen zu einer Treffgenauigkeit der Dispositionsentscheidung führt, die mit der Entscheidung auf der Grundlage einer Unfallmeldung durch Unfallzeugen vergleichbar ist. Mit der automatischen Unfallmeldung kann allerdings ein erheblicher Zeitvorteil gegenüber der manuellen Meldung realisiert werden. Wird nach einer automatischen Unfallmeldung zusätzlich versucht, zwischen der Rettungsleitstelle und dem Fahrzeuginnenraum eine Sprachverbindung herzustellen, können weitere Informationen für die Nachdisposition von Rettungsmitteln gewonnen werden. Damit wird in der Rettungsleitstelle insgesamt eine bessere Dispositionsentscheidung getroffen werden können, als sie alleine auf der Grundlage des telefonisch übermittelten Meldebildes möglich ist.

Wie bereits in Kapitel 1.2.1.3 dargestellt, wurde von *Augenstein et al.* auch ein Algorithmus zur Prognose der Verletzungsintensität von Fahrzeuginsassen entwickelt. Das Ziel ihrer Untersuchung war insbesondere die Verbesserung der Entscheidungsfindung des nicht-ärztlichen Rettungsdienstpersonals (Paramedics) über den Transport einer verletzten Person in ein Trauma-Center. Da die Entscheidung erst nach dem Eintreffen des Rettungsdienstes an der Unfallstelle getroffen werden kann, verwendeten sie als Eingangsgrößen auch Informationen, die nur durch eine Person an der Unfallstelle erhoben werden können (z.B. Informationen über eingeklemmte oder herausgeschleuderte Insassen). *Augenstein et al.* nutzten für ihren Algorithmus insgesamt zehn Eingangsvariablen. Die Spezifikation und den Test der Algorithmen führten sie auf der Grundlage der NASS/CDS-Datenbank durch. Für Frontalkollisionen bestimmten *Augenstein et al.* für die Vorhersageleistung ihres Algorithmus eine Sensitivität von 70,1% und eine Spezifität von 88,8%. Dieser Wert ist in den ROC-Diagrammen der Abbildung 41 als Punkt B eingezeichnet. Der Punkt liegt leicht links außerhalb der ROC-Kurven der eigenen Prognosemodelle mit drei Eingangsgrößen auf Basis der NASS/CDS-Datenbank. Damit ist die Güte der eigenen Modelle, die ausschließlich automatisch erfassbare Informationen nutzen, nur geringfügig schlechter als die Güte des Algorithmus von *Augenstein et al.*, für den weitere Eingangsgrößen erforderlich sind. Bei dieser Gegenüberstellung ist allerdings wieder zu beachten, dass die zugrundeliegende Datenbasis nicht identisch und damit ein Vergleich der Ergebnisse zwischen den Untersuchungen nur eingeschränkt möglich ist.

Es stellt sich nun die Frage, welcher Punkt auf der ROC-Kurve als Arbeitspunkt für die Ableitung einer Dispositionsentscheidung gewählt werden soll. Die Auswahl eines Arbeitspunktes bedeutet bei logistischen Regressionsmodellen die Festlegung eines

---

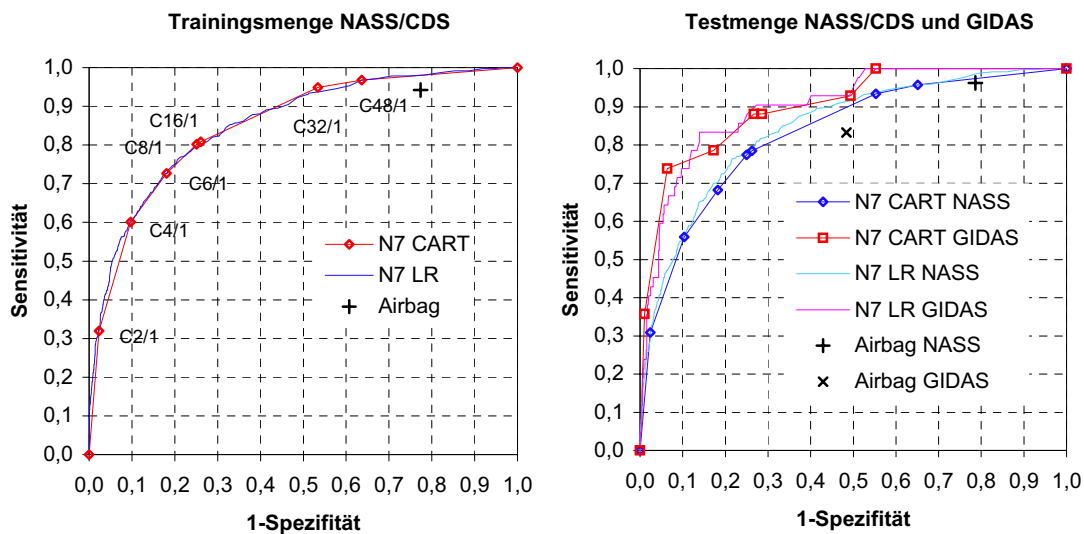
<sup>65</sup> Für diesen Vergleich wurde die Annahme getroffen, dass eine Indikation für einen Notarzteinsatz nur bei MAIS 3 bis 6 verletzten Personen besteht.

Trennwertes und bei Entscheidungsbaum-Modellen die Festlegung von Fehlklassifikationskosten. Im Rahmen dieser Arbeit wurden für die Auswahl der Arbeitspunkte mehrere Strategien vorgestellt und darauf aufbauend mit beispielhaften Annahmen für die entwickelten Modelle Arbeitspunkte bestimmt. Eine der Strategien verfolgt die Minimierung der Kosten aus volkswirtschaftlicher Perspektive, wobei einerseits die Kosten für den Ressourceneinsatz im Rettungsdienst und andererseits die Kosten für die Behandlung von verletzten Personen sowie Folgekosten (Berufsunfähigkeit, verlorene Arbeitsjahre) berücksichtigt wurden. Neben den Annahmen über die Kostensätze waren für die Berechnung zusätzliche Annahmen u. a. über die Änderung der Letalität von verletzten Personen bei einer Versorgung durch einen Notarzt erforderlich. Es zeigt sich, dass prinzipiell bereits eine kleine Senkung der Letalität infolge einer Erstbehandlung durch einen Notarzt (2%) zu einem optimalen Arbeitspunkt bei hohen Sensitivitätswerten führt. Wird von einer höheren Änderung der Letalität ausgegangen, liegt das Optimum nahezu unabhängig vom Verlauf der ROC-Kurven bei Sensitivitätswerten von 100% (vgl. Abb. 36). Dies resultiert aus dem hohen Ansatz für die volkswirtschaftlichen Kosten, die einer im Straßenverkehr getöteten Person zugerechnet werden können. Theoretisch lässt sich mit dieser Strategie zwar ein kostenoptimaler Arbeitspunkt bestimmen, in der Praxis erweist es sich jedoch als schwierig, valide Werte für die Annahmen zu ermitteln. Das Ergebnis dieser Vorgehensweise wird deshalb nur einen Anhaltspunkt bei der Festlegung eines Arbeitspunktes der Prognosemodelle für den Praxiseinsatz bilden können.

Als Prognoseverfahren wurden in dieser Arbeit die logistische Regression und die Entscheidungsbauminduktion eingesetzt. Es zeigte sich, dass mit beiden Verfahren gleichwertige Prognoseergebnisse erzielt werden können. Welches der beiden Verfahren nun besser für den Praxiseinsatz geeignet ist, kann deshalb nur über die weiteren Eigenschaften der Verfahren entschieden werden. Die Entscheidungsbauminduktion hat gegenüber der logistischen Regression den Vorteil, dass die Prognose durch die Anwendung von Entscheidungsbäumen erzeugt wird, die transparent und einfach verständlich sind. Die Entscheidungsbäume können als „Faustregeln“ verstanden werden, über die trotz des einfachen Aufbaus gute Prognosen der Verletzungsintensität der Insassen erstellt werden können. Bei der logistischen Regression erfolgt die Prognose durch die Berechnung der Verletzungswahrscheinlichkeit über die logistische Funktion und den anschließenden Vergleich des Wahrscheinlichkeitswertes mit dem festgelegten Trennwert. Diese Vorgehensweise ist ohne Hintergrundwissen nicht sofort verständlich und nachvollziehbar. Vorteilhaft bei der logistischen Regression ist dagegen die Möglichkeit, den Arbeitspunkt der Modelle durch Änderung des Trennwertes zu verschieben, ohne eine neue Spezifikation der Modelle durchführen zu müssen. Bei der Entscheidungsbauminduktion müssen dafür neue Entscheidungsbäume mit einem neuen Ansatz für Fehlklassifikationskosten erstellt werden. Welches Verfahren sich für die Prognose

der Verletzungsintensität nun am besten eignet, kann letztendlich nur nach einem ersten Praxiseinsatz beurteilt werden.

Als wichtige Eingangsgrößen für die Prognosemodelle haben sich Informationen über die Deformation des Fahrzeuges und insbesondere über die Intrusion von Fahrzeugkomponenten in die Fahrgastzelle erwiesen. Diese Informationen werden im aktuellen Entwicklungsstand der Fahrzeugsensorik i. d. R. nicht oder nur partiell automatisch erfasst (z. B. Messung der Deformation der Seitentüren für die Auslösung des Seiten-Airbags durch Luftdruck-, Temperatur- oder Dehnungssensoren [Zander2003]). Es wäre aus diesem Grund zu untersuchen, mit welchen Sensoren beispielsweise Intrusionen in die Fahrgastzelle automatisch gemessen werden können. Dazu müssten zunächst die Fahrzeugkomponenten identifiziert werden (z. B. Verkleidung im Fußraum, Armaturenbrett), die durch eine Intrusion in den Innenraum Verletzungen verursachen. Im zweiten Schritt könnten dann Sensoren entwickelt und getestet werden, mit denen die Intrusion dieser Komponenten automatisch gemessen werden kann. Es wäre auch zu untersuchen, inwieweit durch eine Auswertung der Verzögerungsprofile weitere Informationen über die Deformation des Fahrzeugs gewonnen werden können.



**Abb. 42.** ROC-Kurven der Prognosemodelle mit den Eingangsvariablen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus* für die Trainings- und die Testmenge der NASS/CDS-Datenbank sowie für die GIDAS-Datenbank als alternative Testmenge

Zur Prüfung der Stabilität der entwickelten Prognosemodelle wurden abschließend die an der NASS/CDS-Datenbank spezifizierten Modelle mit den Eingangsvariablen *dvttotal*, *beltuse* und *intrus* an den Daten der GIDAS-Datenbank getestet. Die Abbildung 42 zeigt auf der linken Seite den Verlauf der ROC-Kurven des logistischen

Regressionsmodells und des Modells auf Basis der Entscheidungsbauminduktion mit dem Algorithmus *CART* an der NASS/CDS-Trainingsmenge.

Die den einzelnen Punkten entsprechenden Entscheidungsbäume für jeweils ein Verhältnis von Fehlklassifikationskosten sind in Abbildung 32 dargestellt. Auf der rechten Seite der Abbildung 42 ist der Verlauf der ROC-Kurven bei Anwendung der Modelle auf die NASS/CDS-Testmenge sowie auf die GIDAS-Datenbank als Testmenge dargestellt. Es wird deutlich, dass die an der NASS/CDS-Datenbank spezifizierten Prognosemodelle bei der Anwendung auf die GIDAS-Datenbank auch zu einem guten Prognoseergebnis führen. In Tabelle 51 sind die Kennzahlen der Modelle enthalten.

**Tabelle 51.** Kennzahlen zu den Prognosemodellen der Abbildung 42 (AUC-Werte mit Standardfehlern und 95%-Konfidenzintervallen)

Nr.	Algorithmus	Datenmenge	vorgegebene Variablen	Leistungsfähigkeit			
				AUC	SERR	95% CI(AUC)	
N7	LR	NASS/CDS Trainingsmenge	dvtotal beltuse intrus	0,852	0,010	0,832	0,873
N7	CART	NASS/CDS Trainingsmenge	dvtotal beltuse intrus	0,854	0,011	0,832	0,876
N7	LR	NASS/CDS Testmenge	dvtotal beltuse intrus	0,854	0,010	0,835	0,874
N7	CART	NASS/CDS Testmenge	dvtotal beltuse intrus	0,830	0,012	0,806	0,853
N7	LR	GIDAS (gesamt)	dvtotal beltuse intrus	0,903	0,023	0,858	0,947
N7	CART	GIDAS (gesamt)	dvtotal beltuse intrus	0,901	0,032	0,839	0,964

Die Leistungsfähigkeit des logistischen Regressionsmodells mit einem AUC-Wert von 0,903 ist nur geringfügig schlechter als die Leistungsfähigkeit des Modells, das an der GIDAS-Datenbank spezifiziert wurde (AUC-Wert von 0,912; vgl. Tabelle 26). Dieses Ergebnis spricht für eine hohe Stabilität der Prognosemodelle. In Abbildung 42 wird auch - wie bereits diskutiert - deutlich, dass die Prognosemodelle an der GIDAS-Datenbank eine deutlich bessere Leistungsfähigkeit zeigen als an der NASS/CDS-Datenbank.

## 5.2 Telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen

Automatische Notrufsysteme ermöglichen die Minimierung der Zeitspanne vom Unfall bis zum Eingang der Unfallmeldung in der Rettungsleitstelle. In Kombination mit der telematischen Prognose der Verletzungsintensität der Fahrzeuginsassen kann zusätzlich die Gesprächs- und Entscheidungszeit auf ein Minimum verkürzt werden. Damit verbleibt als wesentliche Zeitspanne vom Unfall bis zur Ankunft des ersten Rettungsmittels am Unfallort die Eintreffzeit.<sup>66</sup> Wie bereits in Kapitel 1.1.1 dargestellt, haben zufällig am Unfallort anwesende Personen durch den Zeitvorteil deutlich bessere Ausgangsbedingungen, dem Patienten zu helfen, als der später eintreffende Rettungsdienst. In dünnbesiedelten Ländern ist der Zeitvorteil von noch größerer Bedeutung, da die Eintreffzeit des Rettungsdienstes dort ein Vielfaches des deutschen Wertes beträgt.

Die Auswertung der GIDAS-Datenbank hat gezeigt, dass in 75% aller Verkehrsunfälle mit verletzten Personen (MAIS 2 bis 6) ein Erst-Helfer vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes am Unfallort anwesend war und Erste-Hilfe leistete, auch wenn es sich teilweise nur um geringfügige oder um falsche Maßnahmen handelte. Der hohe Anteil an Erst-Helfern macht deutlich, dass in der Bevölkerung die Bereitschaft zur Hilfeleistung vorhanden ist. Häufig fehlt es jedoch an der Kompetenz, die richtigen Erste-Hilfe-Maßnahmen durchzuführen. In der eigenen Voruntersuchung zu dieser Arbeit (Kapitel 1.3) gaben nur 5,3% der befragten Personen an, dass sie genau wüssten, wie eine Herz-Lungen-Wiederbelebung durchzuführen ist. 33,3% schätzten ihre Fähigkeiten dazu schlecht bis sehr schlecht ein. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei der Versorgung einer bewusstlosen Person, obwohl 92,4% der Befragten bereits an mindestens einer Erste-Hilfe-Ausbildung teilgenommen hatten. Bei 71,2% lag die letzte Ausbildung mehr als 5 Jahre zurück. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich im Göttinger Pilotprojekt zur Herz-Lungen-Wiederbelebung durch Erst-Helfer. 78,9% der Teilnehmer eines 6-stündigen Kurses zur Herz-Lungen-Wiederbelebung waren nach zwei Jahren nicht mehr in der Lage, die Wiederbelebung korrekt durchzuführen [Bahr1997]. Bereits die Überprüfung der Vitalfunktionen bereitet vielen Laien Schwierigkeiten. In einer Studie von *Reith et al.* stellten unter standardisierten Versuchsbedingungen nur 71% einer Laiengruppe die richtige Diagnose bei der Atem- und Pulskontrolle [Reith1999].

Dass eine Verbesserung der Laienhilfe bereits durch eine einfache telemedizinische Unterstützung erzielt werden kann, hat sich in verschiedenen Studien zur Telefonreanimation gezeigt [Culley1991, Bahr2001, Billittier1999, Carter1984, Dörge2001,

---

<sup>66</sup> Die Eintreffzeit umfasst die Dispositions-, Alarmierungs-, Annahme-, Ausrück- und Anfahrtszeit.



Eisenberg1985, Kellermann1989, Rea2001]. Durch die telemedizinische Anleitung der Laien kann einerseits die Bereitschaft zu Erste-Hilfe-Leistungen gesteigert und andererseits die Qualität der Maßnahmen erhöht werden.

In der eigenen Voruntersuchung wurden in einer multivariaten Betrachtung die Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft von Laien nach Straßenverkehrsunfällen analysiert. Als signifikant positive Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft haben sich die *persönliche Einstellung zur Hilfeleistung* und die *Fähigkeit zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen* erwiesen. Als signifikant negative Einflussfaktoren konnten *Angst vor Fehlern* und *Angst vor einer persönlichen Gefährdung* (Ansteckung, direkte Gefährdung) identifiziert werden. Die Einflussfaktoren auf die Hilfsbereitschaft decken sich weitgehend mit den Untersuchungen von *Bierhoff* [Bierhoff1990].

Eine telemedizinische Unterstützung von Laien setzt genau an diesen Punkten an: Die präzise Fernanleitung eines Laien durch medizinisch ausgebildetes Personal bei der Durchführung der richtigen Maßnahmen und die Fernüberwachung der Vitalfunktionen der verletzten Person können u. a. das Selbstvertrauen des Laien in seine Fähigkeiten zur Hilfeleistung steigern und die Angst vor Fehlern bei der Versorgung der Verletzten sowie vor seiner eigenen Gefährdung mindern. In der Befragung im Rahmen der Voruntersuchung konnte dieser Effekt eines telemedizinischen Notfallkoffers bestätigt werden. Fast alle Befragten gaben an, dass sich ihre Hilfsbereitschaft bei der Verfügbarkeit eines telemedizinischen Notfallkoffers erhöhen würde. Personen, bei denen die Erste-Hilfe-Fähigkeit gering und die Angst vor Fehlern hoch ausgeprägt sind, schätzten die Steigerung der Hilfsbereitschaft besonders hoch ein, während Befragte mit einer medizinischen Ausbildung, guten Erste-Hilfe-Fähigkeiten und wenig Angst vor Fehlern den Einfluss eines Telemedizinsystems auf ihre Hilfsbereitschaft als gering werteten.

Inwieweit die Qualität der Erste-Hilfe-Maßnahmen durch ein Telemedizinsystem gesteigert und damit das Outcome der verletzten Personen verbessert werden kann, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden. Aufgrund der zur Verfügung stehenden retrospektiven Daten konnte nur der quantitative Einfluss von Erste-Hilfe auf das Outcome betrachtet werden. Dass effektive Erste-Hilfe-Maßnahmen zu einer Verbesserung des Outcomes führen, wurde in mehreren Studien zur kardiopulmonalen Reanimation nachgewiesen [Gallagher1995, Wik1994, Hoeyweghen1993]. Zur Fragestellung des Nutzens einer telemedizinischen Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen bieten Studien zur Telefonreanimation den einzigen Anhaltspunkt. In einer Simulationsstudie von *Kellermann et al.* wurde die telefonische Anleitung von Laien zur Herz-Lungen-Wiederbelebung untersucht [Kellermann1989]. Es zeigte sich, dass telefonisch angeleitete Laien eine ähnliche Leistung erzielten wie im Vorfeld trainierte Laien. Allerdings trat eine deutliche Zeitverzö-

gerung durch die Anleitung auf, was sich in der Überlebenswahrscheinlichkeit widerspiegelt [Rea2001]. Daraus lässt sich ableiten, dass auch aus Sicht von Laien komplexe Maßnahmen wie die Herz-Lungen-Wiederbelebung telemedizinisch angeleitet werden können und dabei die Suffizienz der Maßnahmen sichergestellt werden kann. Die Leistung von gut trainierten Laien wird aufgrund des Zeitnachteils allerdings nicht ganz erreicht werden können.

Vor dem Hintergrund des schlechten Ausbildungsstandes und der geringen Erste-Hilfe-Fähigkeit der Bevölkerung kann ein Telemedizinssystem einen wichtigen Baustein in der Rettungskette zur Verkürzung des therapiefreien Intervalls bilden. Bei der Entwicklung eines Telemedizinssystems für die präklinische Notfallversorgung müssen allerdings folgende Anforderungen erfüllt werden, damit die gewünschten Effekte im Praxiseinsatz erzielt werden können:

- Wird die Länge des therapiefreien Intervalls in Deutschland zugrundegelegt, muss der telemedizinische Notfallkoffer von einem Laien innerhalb kürzester Zeit eingesetzt werden können, damit der Zeitvorteil des Erst-Helfers gegenüber dem Rettungsdienst genutzt werden kann. Dies stellt hohe Anforderungen an die Bedienbarkeit des Systems durch ungeschulte Laien. Die Funktionsweise des Notfallkoffers muss sich einem Laien intuitiv erschließen, da zunächst nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Bedienung des telemedizinischen Notfallkoffers als Lerneinheit in die Erste-Hilfe-Ausbildung aufgenommen wird. Wie wichtig dieser Aspekt ist, hat sich in der Voruntersuchung gezeigt: Die *Einstellung zu elektronischen Geräten* ist in der multivariaten Analyse als signifikanter Einflussfaktor auf die Steigerung der Hilfsbereitschaft durch einen telemedizinischen Notfallkoffer identifiziert worden. Mit steigenden Schwierigkeiten der Laien bei der Bedienung von elektronischen Geräten fällt die Erhöhung der Hilfsbereitschaft bei Verfügbarkeit eines telemedizinischen Notfallkoffers immer kleiner aus.
- Für eine Serienausstattung von Fahrzeugen mit einem telemedizinischen Notfallkoffer sind neben Anforderungen an geringe Wartungsintervalle, kleine Ausmaße auch Anforderungen an geringe Kosten für die Herstellung, den Einbau und den Betrieb des Systems wesentliche Voraussetzungen. Um diese Anforderungen bei der Entwicklung des Telemedizinssystems erfüllen zu können, ist eine genaue Kenntnis der Situation, die sich einem Laien an der Unfallstelle bietet erforderlich. Nur dann kann der Aufbau des Systems auf die wesentlichen und entscheidenden Funktionen beschränkt werden.

Ein Ziel dieser Arbeit war es, das Bild, das sich einem Laien an der Unfallstelle nach einem Verkehrsunfall bietet, zu untersuchen und daraus die indizierten Erste-Hilfe-

Maßnahmen abzuleiten. Die erforderlichen Maßnahmen sollten anschließend die Bestimmung der wichtigsten Funktionen eines telemedizinischen Notfallkoffers ermöglichen. Desweiteren sollten die aktuelle Situation bezüglich der Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen untersucht und der Effekt von Erste-Hilfe auf das Outcome nach traumatologischen Notfällen ermittelt werden.

Diese Untersuchung wurde auf der Basis der retrospektiven Unfalldatenbank GIDAS durchgeführt. Die Datenbank beinhaltet detaillierte Informationen zu einer repräsentativen Stichprobe aller Verkehrsunfälle mit Personenschaden aus dem Großraum Hannover und dem Großraum Dresden. Es wurde angenommen, dass diese Erhebungsgebiete repräsentativ für das gesamte Unfallgeschehen in Deutschland sind [Otte2004A]. Zur Aufbereitung der Daten mussten alle Fälle mit fehlenden Werten bei den Variablen, die in die Auswertung einbezogen werden sollten, eliminiert werden. Dabei musste davon ausgegangen werden, dass die fehlenden Werte rein zufällig verteilt sind (missing completely at random). Nur dann wird die Repräsentativität der Stichprobe durch die Elimination von Fällen nicht beeinflusst. Ob diese Annahme für alle Variablen zutrifft, konnte nicht vollständig geklärt werden, so dass eine Verzerrung der Stichprobe nicht ausgeschlossen werden kann.

In die Untersuchung der typischen Notfallsituationen wurden gemäß der Fragestellung nur Straßenverkehrsunfälle einbezogen, so dass sich die ermittelten Anforderungen an die Funktionen des telemedizinischen Notfallkoffers an den typischen Verletzungen bei Verkehrsunfällen orientieren. Auch wenn der telemedizinische Notfallkoffer ausschließlich in Fahrzeugen mitgeführt wird, wird er auch in anderen zeitkritischen Notfällen eingesetzt werden können. Straßenverkehrsunfälle machen nur rund 6% aller Notfälle mit Notarzteinsatz in Deutschland aus [Schmiedel2002A]. Aus diesem Grund wäre zu untersuchen, welche zusätzlichen Funktionen für die Nutzung des TNK zur Erstversorgung von anderen traumatologischen Notfällen und von akut erkrankten Personen außerhalb von Verkehrssituationen erforderlich und sinnvoll sind.

### **5.2.1 Typische Verletzungsmuster, pathophysiologische Zustände und indizierte Erste-Hilfe-Maßnahmen**

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass die meisten bei Verkehrsunfällen schwerverletzten Personen (MAIS 3 bis 5) schwere knöcherne Verletzungen am Bein (41%), schwere innere Brustkorbverletzungen (29%), schwere Schädel-Hirn-Verletzungen (29%) und schwere knöcherne Verletzungen am Arm (11%) aufweisen. Ein ähnliches Verletzungsmuster ergibt sich bei der Auswertung von 2.812 Datensätzen der Notarzteinsatzprotokolle (MIND) aus Hamburg, Göttingen und Rügen durch *Schmiedel*

über alle traumatologischen Notfälle. Im Gegensatz zur Auswertung der GIDAS-Datenbank, in der ausschließlich Verkehrsunfälle erfasst sind, liegen allerdings Thoraxverletzungen seltener (15%) vor [Schmiedel2002]. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Verletzungen des Brustkorbes insbesondere bei Verkehrsunfällen mit Frontal- und Seitenkollisionen infolge von Intrusionen in den Fahrgastinnenraum verursacht werden und deshalb bei Verkehrsunfällen im Vergleich zu den gesamten traumatologischen Notfällen häufiger vertreten sind [Zador1993, Richter2001]. In der Studie von *Schmiedel* wurde auch der Erstbefund der Notärzte bezüglich Bewusstseinslage und Atmung der Verletzten ausgewertet. Insgesamt 40% der Verletzten wiesen eine Beeinträchtigung der Bewusstseinslage auf. Bei 28% lag eine Bewusstseinsstörung vor und 12% waren bewusstlos. Eine Atemstörung wurde bei 12% und eine Apnoe bei 6% dokumentiert. Der Anteil der Personen mit einer Beeinträchtigung der Bewusstseinslage deckt sich recht gut mit den Ergebnissen der eigenen Auswertung. In der GIDAS-Datenbank wurden jedoch deutlich weniger Personen mit Atemstörungen (6%) erfasst, obwohl der Anteil der Thoraxverletzungen wesentlich höher liegt.

Zur Frage der indizierten und der von Laien tatsächlich durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen liegen in der Literatur relativ wenig Untersuchungen vor. Die erste umfassende Untersuchung wurde von *Bartsch et al.* im Großraum Bonn durchgeführt [Bartsch1989]. Bei 500 Notfällen aller Art (16% traumatologische Notfälle) haben Notärzte die Qualität der Erste-Hilfe-Leistung von Laien beurteilt. Es wurde dabei jedoch nicht nach unterschiedlichen Maßnahmen differenziert. Eine ähnliche Studie wurde im Raum Marburg von *Donner-Banzhoff et al.* durchgeführt [Donner1999]. Sie evaluierten 1.150 Notfälle aller Art, erfassten die Anwesenheit von Erst-Helfern und beurteilten die Qualität einzelner Maßnahmen. Die umfassendste und detaillierteste Untersuchung zu diesem Thema erfolgte im Rahmen einer prospektiven 2-Center-Studie in Wien und Mainz [Mauritz2003, Thierbach2004]. Bei 2.812 Notarzteinsätzen mit traumatologischen Notfällen wurde von *Mauritz et al.* die Indikation von Erste-Hilfe-Maßnahmen sowie die Qualität der Durchführung der Maßnahmen erfasst und ausgewertet. Bei 17% der Notarzteinsätze war die Unfallursache ein Verkehrsunfall. In allen genannten Studien wurde das gesamte Spektrum von unterschiedlichsten Unfallursachen betrachtet, so dass die Ergebnisse nur eingeschränkt auf Straßenverkehrsunfälle übertragen werden können. Aus der Literatur sind keine Studien bekannt, mit denen die Indikation und Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen ausschließlich bei Straßenverkehrsunfällen untersucht wurde.

Die Erhebung der indizierten Maßnahmen erfolgte in allen Studien mittels eines Fragebogens, der von Notärzten oder Rettungsassistenten bzw. -sanitätern nach dem Einsatz ausgefüllt wurde. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Erfassung der indizierten Maßnahmen aus methodischen Gründen nicht direkt durch die Beurteilung

der Situation am Unfallort, sondern retrospektiv aufgrund der vorliegenden Verletzungen sowie des pathophysiologischen Zustandes<sup>67</sup> der Unfallopfer durchgeführt. Diese Vorgehensweise musste gewählt werden, da in der genutzten Unfalldatenbank keine Informationen über die indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen enthalten sind. Vorteilhaft an dieser Vorgehensweise ist, dass ein breites Spektrum an Erste-Hilfe-Maßnahmen berücksichtigt werden kann und die Zuordnung der Indikation von Maßnahmen nach einem festgelegten Kriterienkatalog erfolgt. Schwierigkeiten treten jedoch bei der Beurteilung der Indikation von Erste-Hilfe-Maßnahmen auf, wenn aufgrund mehrerer Verletzungen unterschiedliche Maßnahmen erforderlich sind, die sich gegenseitig widersprechen (z. B. stabile Seitenlage versus Schocklage). Um dieses Problem zu lösen wurden Entscheidungsregeln definiert. Da die Maßnahmen aus den retrospektiv in der Klinik erfassten Verletzungen der Unfallopfer abgeleitet wurden, kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle indizierten Maßnahmen an der Unfallstelle für einen Arzt oder einen Laien erkennbar gewesen wären. Dieser Aspekt führt tendenziell zu einer Überschätzung der Indikationen. Zusätzlich zu der Beurteilung der Indikation einer Maßnahme, wie sie auch bei *Mauritz et al.*, *Donner-Banzhoff et al.* und *Bartsch et al.* erfolgte, wurde in der eigenen Untersuchung die Bedeutung einer Maßnahme für die Sicherung der Vitalfunktionen bewertet.

Als häufigste lebensrettende Laienmaßnahmen für schwerverletzte Personen wurden die Basisdiagnostik (*Schockzeichen prüfen* und *Vitalfunktionen überwachen* bei 96% der schwerverletzten Personen), *Atemwege freimachen* (53%), *Wundverband Bein* (43%) und *Kopf* (31%) sowie die *Schocklagerung* (41%) und die *stabile Seitenlage* (20%) identifiziert. Die Basisdiagnostik wurde leider in keiner anderen Studie als Laienmaßnahme erfasst, obwohl sie von jedem Erst-Helfer bei traumatologischen Notfällen als Erstes durchgeführt werden sollte [Handley2001]. *Donner-Banzhoff et al.* haben die Basisdiagnostik nur als mögliche Maßnahme für Rettungspersonal und Ärzte, die vor dem Eintreffen eines Notarztes am Unfallort anwesend waren, vorgesehen. Die Indikation der Basisdiagnostik wurde in ihrer Untersuchung beim Rettungspersonal in 67% und bei Ärzten in 94% der Fälle positiv beurteilt. Bei *Mauritz et al.* waren die am häufigsten indizierten Maßnahmen: *Verband anlegen* (in 26% der Fälle), *Lagerung* (24%), *Blutstillung* (18%) und *Sicherung der Unfallstelle* (16%). In der Studie von *Donner-Banzhoff et al.* waren es: *Lagerung* (78%), *Immobilisation* (14%), *Medikation* (8%) und *Atemwege freihalten* (8%). Aufgrund der unterschiedlichen Definition der Maßnahmen und des unterschiedlichen Anteils an lebensbedrohlich verletzten Personen in

---

<sup>67</sup> Aus methodischen Gründen wurde in den genutzten Unfalldatenbanken der pathophysiologische Zustand nur zum Zeitpunkt des Eintreffens der Rettungskräfte am Unfallort erfasst. Da der Zustand im Zeitverlauf nicht konstant ist, wird auch die Indikation von Erste-Hilfe-Maßnahmen einer Änderung unterliegen. Dieser Effekt konnte in der Untersuchung nicht berücksichtigt werden.

den Studien (*Mauritz et al.*: 2%, *Donner-Banzhoff et al.*: 47%, *eigene Untersuchung*: 32%) ist eine Vergleichbarkeit der Studien untereinander bezüglich der indizierten Maßnahmen nur eingeschränkt möglich. Die *Sicherung der Unfallstelle* wurde in der eigenen Untersuchung als Maßnahme nicht berücksichtigt, da sie bei Straßenverkehrsunfällen nahezu in jedem Fall erforderlich ist und noch vor der Versorgung eines Unfallopfers durchgeführt werden sollte [Buchfelder1999, Handley2001]. Die kardio-pulmonale Reanimation war bei 6% der schwerverletzten Personen indiziert. Dieser Wert deckt sich mit den Ergebnissen der Bonner Studie, in die auch ein ähnlich hoher Anteil an schwerverletzten Personen einbezogen wurde. Wie bereits dargestellt, darf durch die relativ seltene Indikation die Bedeutung dieser Maßnahme nicht unterschätzt werden, da sie für das Unfallopfer die nahezu einzige Überlebenschance bietet [Gallagher1995, Callies2000].

### 5.2.2 Erste-Hilfe-Maßnahmen von Laien (Status Quo)

In der ausgewerteten Datenbasis wurde bei 75% der verletzten Personen (MAIS 2 bis 6) die Anwesenheit eines Erst-Helfers vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes dokumentiert. Zusätzlich wurde erfasst, welche Maßnahmen der Erst-Helfer durchgeführt hat. In einem großen Anteil der Fälle (23,9%), in denen eine Erste-Hilfe-Leistung erfolgte, wurden allerdings keine konkreten Maßnahmen dokumentiert, sondern nur die Kategorie *sonstige Maßnahmen* ausgewählt. Es konnte nicht vollständig geklärt werden, ob in diesen Fällen die durchgeführten Maßnahmen den vorgegebenen Kategorien nicht zugeordnet werden konnten oder ob im nachhinein nicht mehr feststellbar war, welche konkreten Maßnahmen vom Erst-Helfer vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes geleistet wurden. Trifft die letzte Annahme zu, wurde bei den Auswertungen die Häufigkeit der Durchführung einzelner konkreter Erste-Hilfe-Maßnahmen systematisch unterschätzt. In der vorliegenden Untersuchung konnte nicht berücksichtigt werden, in welcher Qualität die Erste-Hilfe-Maßnahmen vom Laien durchgeführt wurden und wie effektiv sie waren, da diesbezüglich keine Informationen in der GIDAS-Datenbank enthalten sind.

Ein Anteil in Höhe von 75% der Unfälle, bei denen ein Erst-Helfer vor dem Eintreffen des Rettungsdienstes anwesend war und aktiv wurde, erscheint vor dem Hintergrund der Untersuchung von *Mauritz et al.* zunächst sehr hoch. Ihre Studie ergab, dass in etwa 57% aller Unfälle ein Erst-Helfer anwesend war. Die eigene Auswertung hat allerdings gezeigt, dass zwischen der Erste-Hilfe-Leistung und dem Verletzungsschweregrad ein nicht-monotoner Zusammenhang besteht. Bei leichten Verletzungen wird selten Erste-Hilfe geleistet, bei einer ausgeprägten Traumatisierung erreicht die Erste-Hilfe-Leistung ein Maximum und bei sehr schweren Verletzungen fällt sie wieder deutlich ab. Dieser Zusammenhang wurde auch in der Bonner Studie beobachtet [Bartsch1989]. Da in der

eigenen Untersuchung ein hohe Anzahl von Personen mit ausgeprägten traumatischen Verletzungen eingeschlossen wurde und die Unfälle i. d. R. auf öffentlichen Straßen mit einer hohen Verkehrsdichte erfolgten, ist der hohe Anteil an Erste-Hilfe-Leistungen erklärbar. *Bartsch et al.* und *Mauritz et al.* beobachteten auch, dass nach Unfällen prinzipiell häufiger Erste-Hilfe geleistet wurde als bei nicht-traumatologischen Notfällen. In großen Studien zur CPR zeigte sich, dass nur in 27% der Fälle Erste-Hilfe-Leistungen erfolgten [Hoeyweghen1993]. Werden in der Bonner-Studie nur die traumatischen Notfälle betrachtet, erhielten die Unfallverletzten in 2/3 der Fälle wirksame Erste-Hilfe.

Obwohl in vielen Fällen Erste-Hilfe geleistet wird, bestehen bei den Erst-Helfern erhebliche Probleme bei der Erkennung der Indikation und bei der anschließenden Durchführung der Maßnahmen. In der eigenen Untersuchung als auch in den anderen Studien zu diesem Thema zeigte sich, dass in vielen Fällen die erforderlichen Erste-Hilfe-Maßnahmen nicht erbracht wurden oder Maßnahmen durchgeführt wurden, die nicht indiziert waren. Nach der GIDAS-Dokumentation wurde eine CPR in nur 57% der Fälle in denen sie indiziert und ein Erst-Helfer anwesend war, tatsächlich durchgeführt. Noch seltener wurden bei Schwerverletzten die *stabile Seitenlage* (30%), das *Anlegen eines Verbandes* (15%) oder das *Befreien der Atemwege* (12%) erkannt bzw. durchgeführt, obwohl die Maßnahmen als *lebensrettend* eingeschätzt wurden. Vice versa traten 6 Fälle auf, bei denen eine CPR angefangen wurde, obwohl sie nicht erforderlich war. Ähnliche Fälle wurden auch von *Mauritz et al.* beobachtet. Unklar ist, ob notwendige Maßnahmen unterlassen wurden, weil die Indikation nicht erkannt wurde oder weil der Erst-Helfer nicht wusste, wie sie durchzuführen sind [Mauritz2003]. Beide Erklärungsmöglichkeiten resultieren aus unzureichenden Fähigkeiten bzw. einem schlechtem Ausbildungsstand der Erst-Helfer [Grossert2003, Schäfer2001, Gallagher1995].

Bei der offensichtlich relativ hohen Hilfsbereitschaft bei Verkehrsunfällen und gleichzeitig erheblichen Defiziten der Erste-Hilfe-Fähigkeiten in der Bevölkerung kann ein Telemedizinssystem einen wirksamen Ansatz zur Verbesserung der präklinischen Notfallversorgung bilden. Die telemedizinische Unterstützung von Laien wird jedoch die Forderungen nach einer intensiveren und sich wiederholenden Erste-Hilfe-Ausbildung sowie einer flächendeckenden Einführung von First-responder-Konzepten nicht ersetzen können [Schlechtriemen2003].

### 5.2.3 Funktionen des telemedizinischen Notfallkoffers

Für die Entwicklung des telemedizinischen Notfallkoffers stellt sich die Frage, welche Funktionen zur Unterstützung von Laien bei der Versorgung von verletzten Personen bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes erforderlich sind. Zur Beantwortung dieser Frage wurde die Bedeutung von 11 vorgegebenen Grundfunktionen, mit denen Laien

bei der Erkennung der Indikation und bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen angeleitet werden können, evaluiert. Die ermittelten indizierten Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen bildeten die Grundlage für die Untersuchung der Relevanz der einzelnen Funktionen.

Die Audiokommunikation zwischen dem Erst-Helfer und dem telemedizinischen Call Center sowie die Messung und Übertragung der Herzrate und des Blutdrucks wurden als wichtigste Funktionen eingestuft. Die Audiokommunikation mit einem medizinisch geschulten Experten ist die einfachste und wichtigste Voraussetzung für eine telemedizinische Anleitung von Laien und hat sich bereits in der Praxis im Bereich der Telefonreanimation als effizient erwiesen [Rea2001, Döriges2001, Culley1991, Kellermann1989, Eisenberg1985]. Die alleinige Kommunikation ist dafür allerdings nicht ausreichend. Gut evaluierte Protokolle bzw. Algorithmen, die den Experten im Call Center einen Leitfaden geben, um den Laien in kurzer Zeit zu instruieren, sind erforderlich. Im Bereich der kardiopulmonalen Reanimation wurde bereits eine Vielzahl von Algorithmen entwickelt und getestet [Rufan2005, Carter1984]. Für die Versorgung von traumatologischen Notfällen müssen entsprechende Algorithmen, die den gesamten Ablauf der präklinischen Erstversorgung durch Laien abdecken, noch entwickelt und evaluiert werden.

Die Überprüfung der Vitalfunktionen ist die erste und wichtigste Maßnahme, die ein Laie bei einer verletzten Person durchführen muss. Daraus leiten sich die weiteren Maßnahmen ab, die durchzuführen sind [Handley2001]. Wie bereits dargestellt, haben Laien allerdings erhebliche Schwierigkeiten bei der Atem- und Pulskontrolle [Bahr1997, Reith1999]. In den meisten Reanimationsrichtlinien stellte die Prüfung des Karotispulses das wichtigste Kriterium für die Erkennung eines Herz-Kreislauf-Stillstandes dar. Für die Kontrolle des Pulses sollten die Laien maximal 10 Sekunden benötigen. Mehrere Studien zeigten allerdings, dass Laien eine längere Zeitspanne brauchen, um das Vorhandensein des Pulses sicher zu beurteilen. Auch bei einer verlängerten Palpationszeit kommt es zu einer signifikanten Anzahl von Fehldiagnosen [Bahr1997, Eberle1996, Mather1996]. Aus diesem Grund wurde für unerfahrene Laienhelfer die Pulskontrolle zur Prüfung der Kreislaufzeichen aus der Leitlinie für einfache lebensrettende Sofortmaßnahmen des European Resuscitation Council herausgenommen und die Kontrolle der Vitalfunktionen auf die alleinige Beurteilung des Bewusstseinszustandes und der Atmung beschränkt [Dick2002B].

Bei dem Einsatz des Telemedizinsystems kann diese Problematik durch die Nutzung biomedizinischer Sensoren, die eine kontinuierliche Überwachung des Vitalstatus der verletzten Person durch Experten im medizinischen Call Center ermöglichen, gelöst werden. In der professionellen Notfallrettung ist der Einsatz von Sensoren zur Kontrolle



von Vitalparametern und zur Überwachung von Therapiemaßnahmen bereits zu einer Selbstverständlichkeit geworden [Thierbach2003]. Neuartige Technologien machen es möglich, die wichtigsten Vitalparameter (Herzrate und Blutdruck) mit einem Multi-Sensor-Armband automatisch und kostengünstig zu messen und zur Auswertung in ein medizinisches Call Center zu übertragen [Ahmad2004, IIS2004]. Für das Anlegen eines derartigen Armbandes wird ein Laie weniger Zeit benötigen als für die einmalige Atem- oder Pulskontrolle. Gleichzeitig wird ein valideres und kontinuierliches Monitoring der verletzten Person ermöglicht.

Die Integration von Sensor-Modulen in den TNK, die die Ableitung eines 1-Kanal EKG, die Messung der partiellen Sauerstoffsättigung und der Pulsfrequenz im arteriellen Blutfluss ermöglichen, wurde in fast allen Fällen als wichtig oder hilfreich beurteilt. Diese Funktionsmodule wurden aber weniger wichtig bewertet, als die Messung der Herzrate und des Blutdrucks. Die Auswertung des EKG durch einen Experten im Call Center bietet zwar bei kardiologischen Notfällen die Möglichkeit einen Herzinfarkt zu diagnostizieren [Burger2003], doch liegt diese Art von Notfällen bei Verkehrsunfällen eher selten vor. Die Pulsoximetrie zur Messung der partiellen Sauerstoffsättigung und der Pulsfrequenz ist ein Verfahren, das prinzipiell einfach anzuwenden ist und eine Überwachung der Atemfunktion ermöglicht. Die Bedeutung dieser Funktion für die Laienunterstützung wurde jedoch in den meisten Fällen nur als hilfreich bewertet, da das Verfahren bei Störungen der Mikrozirkulation - wie im Schock oder bei hypothermen Patienten - nur eine unzuverlässige Messgenauigkeit bietet [Thierbach2003].

Zur Anleitung von Laien bei der Durchführung der komplexeren Maßnahmen wurden schematische Abbildungen, die auf dem Display des TNK vom Call Center eingeblendet werden können, als eine sehr wichtige Funktion bewertet. Es wurde dabei angenommen, dass Laien durch Abbildungen schneller und präziser instruiert werden können als durch sprachliche Beschreibungen und sich besser an bereits gelernte Maßnahmen erinnern können. Zur Gestaltung der Benutzeroberfläche und der Anleitungsalgorithmen sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Übertragung von Videosequenzen und Standbildern von der Unfallstelle in das medizinische Call Center wurde in nahezu allen untersuchten Fällen als wichtige Ergänzung zur Audiokommunikation eingestuft. Bilder können dem Experten im Call Center einen detaillierten Eindruck von der Unfallsituation und der verletzten Person vermitteln [Genzwürker2002]. Ob Videosequenzen, Standbilder oder Kombinationen einen besseren Eindruck vermitteln können, wird durch Simulationen oder im Praxiseinsatz geklärt werden müssen. Für die Entscheidung werden neben der technisch verfügbaren Bandbreite im Mobilfunknetz zur Übermittlung der Daten in das Call Center praktische Aspekte wie die Kameraführung und die Beleuchtung eine bedeutende Rolle spielen.

In den TNK könnte auch eine Funktionskomponente zur automatischen externen Defibrillation integriert werden. Eine Reihe von Studien hat gezeigt, dass bei einem Herz-Kreislaufstillstand aufgrund von Kammerflimmern oder tachykarden Rhythmusstörungen durch eine rasche Defibrillation eine signifikante Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeit erzielt werden kann [Lackner2001, Schnoor2003, Böttiger2003, Valenzuela2000]. Derartige Notfälle treten allerdings nach Straßenverkehrsunfällen selten auf. Gegen die Integration dieser Funktionskomponente sprechen auch die hohen Herstellungskosten und die erforderliche Ausbildung von Laien, die eine korrekte Anwendung der automatischen externen Defibrillatoren in Notfallsituationen gewährleistet [Schlechtriemen2003].

Zur Bestimmung der Relevanz der möglichen Grundfunktionen des telemedizinischen Notfallkoffers wurde in der Untersuchung von einem Arzt beurteilt, wie wichtig eine Funktion für die Unterstützung eines Laien bei der Erkennung der Indikation und bei der Durchführung einer Maßnahme gewesen wäre. Auf der Grundlage dieses Ratings und der Indikationshäufigkeit der Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen wurde anschließend die Relevanz für jede Funktion berechnet. Diese Vorgehensweise zeigte eine Schwäche: Die Einschätzung der Bedeutung der einzelnen Funktionen für die Unterstützung eines Laien beruht nur auf der Einschätzung eines Arztes und steht damit nicht auf einer breiten empirischen Basis. Um belastbare Aussagen über die beste Funktionsausstattung und -ausgestaltung des telemedizinischen Notfallkoffers treffen zu können, müsste die Einschätzung von mehreren Ärzten und durch Simulationsstudien abgesichert werden. Dies ist allerdings erst möglich, wenn ein Prototyp des Systems mit ausgewählten Grundfunktionen vorliegt. Für die Konstruktion eines Prototypen des telemedizinischen Notfallkoffers und die Planung der Simulationsstudien liefert die vorliegende Untersuchung mit der Häufigkeit der indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen und der Abschätzung der Relevanz der einzelnen Funktionen eine wichtige Basis.

#### **5.2.4 Nutzen der Laienhilfe und möglicher Nutzen des telemedizinischen Notfallkoffers**

Nachdem die Anforderungen an einen telemedizinischen Notfallkoffer untersucht und diskutiert wurden, stellt sich die Frage, welcher Nutzen durch die telemedizinische Unterstützung von Laien bei Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen erzielt werden kann. Die Quantifizierung dieses Nutzens ist eine Grundvoraussetzung für die Durchführung gesundheitsökonomischer Evaluationen, die die Bildung eines Verhältnisses zwischen dem erzielbaren Nutzen des Systems und den Kosten für die Einführung und den Betrieb ermöglichen [Schöffski2002]. Im Vergleich mit alternati-

ven Maßnahmen (z.B. Insassenschutzmaßnahmen) zur Reduzierung der Anzahl der getöteten und verletzten Personen nach Straßenverkehrsunfällen (vgl. Abb. 1) können damit Anhaltspunkte für politisch-strategische Entscheidungen über die flächendeckende Einführung eines Telemedizinssystems gewonnen werden. Parallel zu dieser Arbeit wurde von *Auerbach* eine Kosten-Wirksamkeits-Analyse für das hier konzipierte Telemedizinssystem durchgeführt [Auerbach2005]. Als Grundlage für die Kosten-Wirksamkeits-Analyse wurde im Rahmen dieser Arbeit der Nutzen der Erste-Hilfe-Maßnahmen von Laien nach Straßenverkehrsunfällen untersucht.

Für die Ermittlung des Nutzens müssen prinzipiell zwei Effekte berücksichtigt werden: Die Verfügbarkeit des Telemedizinssystems wird zum einen die Hilfsbereitschaft entsprechend den Ergebnissen der Voruntersuchung erhöhen und zum anderen eine Steigerung der Qualität und der Effektivität der Maßnahmen ermöglichen. Beide Effekte werden einen Einfluss auf die Letalität und die Rehabilitationsprognose nach Straßenverkehrsunfällen ausüben. Da in der zur Verfügung stehenden empirischen Datengrundlage die Qualität der Maßnahmen nicht bewertet wurde, konnte nur der generelle Einfluss von Erste-Hilfe-Maßnahmen, unabhängig von der Effizienz, untersucht werden. Als Outcome-Parameter wurde die Letalität gewählt, da alle anderen möglichen Parameter (z.B. Behandlungsdauer) nicht oder nur unvollständig erfasst wurden.

Die multivariate logistische Regressionsanalyse zeigt, dass von Laien durchgeführte Erste-Hilfe-Maßnahmen unabhängig von ihrer Qualität einen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit von schwerverletzten Personen ausüben ( $OR=3,2$ ; 95% CI: 1,196 - 8,790;  $p<0,03$ ). In der Literatur konnten keine Studien gefunden werden, in denen der Einfluss von Laienhilfe auf die Überlebenswahrscheinlichkeit von traumatisierten Patienten analysiert wurde [Dick2003A]. In mehreren Studien wurde jedoch der Einfluss von Laienreanimationen bei kardiologischen Notfällen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit untersucht [Gallagher1995, Wik1994, Hoeyweghen1993]. *Gallagher et al.* betrachteten diesen Zusammenhang in New York City an 2.071 Herzkreislaufstillständen und nutzten als Analyseverfahren auch die logistische Regression. Der Anteil der Überlebenden in der Gruppe mit Laienreanimation lag signifikant höher als in der Gruppe ohne Laienreanimation. Der *odds ratio* für die Laienreanimation betrug  $OR=3,7$  (95% CI: 1,7 - 8,8;  $p<0,001$ ). Dieses Ergebnis deckt sich recht gut mit dem der eigenen Untersuchung, obwohl erhebliche Unterschiede im Studiendesign und in der Art der Notfälle (kardiologische versus traumatologische Notfälle) vorliegen. *Gallagher et al.* konnten - im Gegensatz zur eigenen Untersuchung - noch einen Schritt weitergehen und zwischen richtig (effektiv) und falsch (ineffektiv) durchgeführter Herz-Lungen-Wiederbelebung differenzieren. Für effektive Reanimationen durch Laien lag in ihrer Studie der *odds ratio* bei  $OR=5,7$  (95% CI: 2,7 - 12,2;  $p<0,001$ ).

Der in der eigenen Untersuchung ermittelte Effekt-Koeffizient (*odds ratio*) ermöglicht zunächst nicht, eine generelle Aussage über die Erhöhung der Überlebenswahrscheinlichkeit nach Straßenverkehrsunfällen zu treffen, wie sie für die gesundheitsökonomische Evaluation benötigt wird. Der Koeffizient gibt Auskunft, um welchen Faktor sich das Wahrscheinlichkeitsverhältnis zwischen Überleben und Sterben statistisch ändert, wenn Erste-Hilfe geleistet wird. Durch Anwendung des logistischen Regressionsmodells auf die zugrundeliegenden Fälle wurde unter der Annahme, dass in allen Fällen Laienhilfe geleistet wird, die Änderung der Überlebenswahrscheinlichkeit bestimmt. Mit dieser idealtypischen Annahme ergab sich in der betrachteten Gruppe von schwerverletzten Personen eine Steigerung der durchschnittlichen Überlebenswahrscheinlichkeit um 1,6%. Hochgerechnet auf das Unfallgeschehen in Deutschland, würde 243 Personen pro Jahr das Leben gerettet werden können. Die getroffene Annahme ist allerdings unrealistisch, weil nicht davon auszugehen ist, dass bei allen Unfällen ein Laie, der durch die Verfügbarkeit eines telemedizinischen Notfallkoffers zur Erste-Hilfe-Leistung motiviert werden kann, anwesend ist.

Bei der durchgeführten Abschätzung blieb der zweite oben erwähnte Effekt unberücksichtigt. Durch den Einsatz des Telemedizinsystems wird die Qualität und damit die Effizienz der Erste-Hilfe-Maßnahmen gesteigert. Dieser Effekt wurde durch Studien zur Telefonreanimation bestätigt und bereits diskutiert. Wie stark die Qualität steigen wird und welche Auswirkungen dies auf die Überlebenswahrscheinlichkeit hat, wurde noch nicht untersucht. Wird wieder auf die Studie von *Gallagher et al.* zurückgegriffen und ihr Effekt-Koeffizient ( $OR=5,7$ ) für eine effizient durchgeführte Herz-Lungen-Wiederbelebung durch Laien als Anhaltspunkt für eine mögliche Qualitätsverbesserung der Maßnahmen herangezogen, kann eine weitere Abschätzung durchgeführt werden. Es wird dafür die Annahme getroffen, dass in den Fällen, in den Laien Erste-Hilfe leisten, eine Effizienz erzielt wird, die der von *Gallagher et al.* beobachteten entspricht. Wird das logistische Regressionsmodell mit einem entsprechend angepassten Regressionskoeffizienten für die Variable *Erste-Hilfe* ( $B=-1,740$ ) auf alle ausgewerteten Fälle angewendet, fällt die durchschnittliche Letalität in der ausgewerteten Gruppe von verletzten Personen gegenüber dem Status Quo um 3,7% auf 17,1% ab. Dies entspricht einer Reduzierung der getöteten in der Gruppe der MAIS 3 bis 5 verletzten Personen um 17,7% und bezogen auf alle getöteten Personen um 8,6%. Hochgerechnet auf das Unfallgeschehen in Deutschland, würde 573 Personen pro Jahr das Leben gerettet werden können.

Die durchgeführte Nutzenberechnung für den flächendeckenden Einsatz eines telemedizinischen Notfallkoffers stellt nur eine Abschätzung dar. Um weitere Anhaltspunkte zu gewinnen, wird wieder auf den Vorschlag zur Durchführung von Simulationsstudien mit einem Prototypen des Systems verwiesen. Eine endgültige Klar-

heit über den Nutzen des Systems wird erst erzielt werden können, wenn das System in der Praxis eingesetzt wird.



### 5.3 Lösungsansatz für ein Telemedizinsystem

Aufbauend auf den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen wurde ein Lösungsansatz für ein Telemedizinsystem zur Optimierung der präklinischen Notfallversorgung entwickelt. Folgende Anforderungen wurden dabei an das System gestellt. Das Telemedizinsystem soll

- nach Straßenverkehrsunfällen die Funktionen eines automatischen Notrufsystems in Anlehnung an die Spezifikationen von eMERGE unterstützen,
- auf der Grundlage der Prognose der Verletzungsintensität von Fahrzeuginsassen eine Dispositionsempfehlung für die Rettungsleitstelle bereitstellen und
- die telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen ermöglichen.

Darüber hinaus soll das System für das gesamte Einsatzspektrum des Rettungsdienstes - unabhängig von Straßenverkehrsunfällen - die Möglichkeit bieten, den Kommunikationsfluss zwischen den Teilnehmern in der Rettungskette (Rettungsleitstelle, Einsatzkräfte, Kliniken) zu unterstützen, um eine Verbesserung der Prozesseffizienz und damit eine weitere Steigerung der Versorgungsqualität zu erzielen. Zu dieser Thematik wurden u.a. vom Rettungszentrum Regensburg detaillierte Untersuchungen durchgeführt und ein Lösungsansatz zur Verbesserung des Notfallmanagements entwickelt [Nehrlich2004, Schächinger2001]. Die dabei gewonnenen Ergebnisse wurden in die vorliegende Konzeption einbezogen.

Bei der Entwicklung des Lösungsansatzes wurde berücksichtigt, dass die technische Ausstattung des Rettungsdienstes bereits innerhalb Deutschlands sehr heterogen ist. Um dennoch einen flächendeckenden Einsatz des Telemedizinsystems zu gewährleisten, wurde eine Architektur gewählt, die geringe Anforderungen an die technische Infrastruktur des Rettungsdienstes stellt. Die Architektur zeichnet sich durch einen zentralen Provider (Telemedical Service Provider, TSP) aus, der als Kommunikationsknoten die Daten der einzelnen Teilnehmer der Rettungskette entgegennimmt, auswertet, verwaltet und an die jeweiligen Empfänger weiterleitet. Diese Struktur hat des Weiteren den Vorteil, dass spezialisiertes und hoch qualifiziertes Personal für eine telemedizinische Unterstützung nicht in jeder Rettungsleitstelle bereitgestellt werden muss, sondern von der Zentrale aus landesweit eingesetzt werden kann. Die Kompetenz zur Einschätzung der Lage vor Ort und zur Disposition der Rettungsmittel verbleibt jedoch in den regionalen Rettungsleitstellen, die aufgrund landesspezifischer Rettungsdienstgesetze für diese Aufgaben zuständig sind. Die Rettungsleitstellen sind als regionale Annahmestellen für Notrufe und mit ihrer Kenntnis der lokalen Gegebenheiten für diese Aufgaben wesentlich besser geeignet, als ein zentraler Provider.

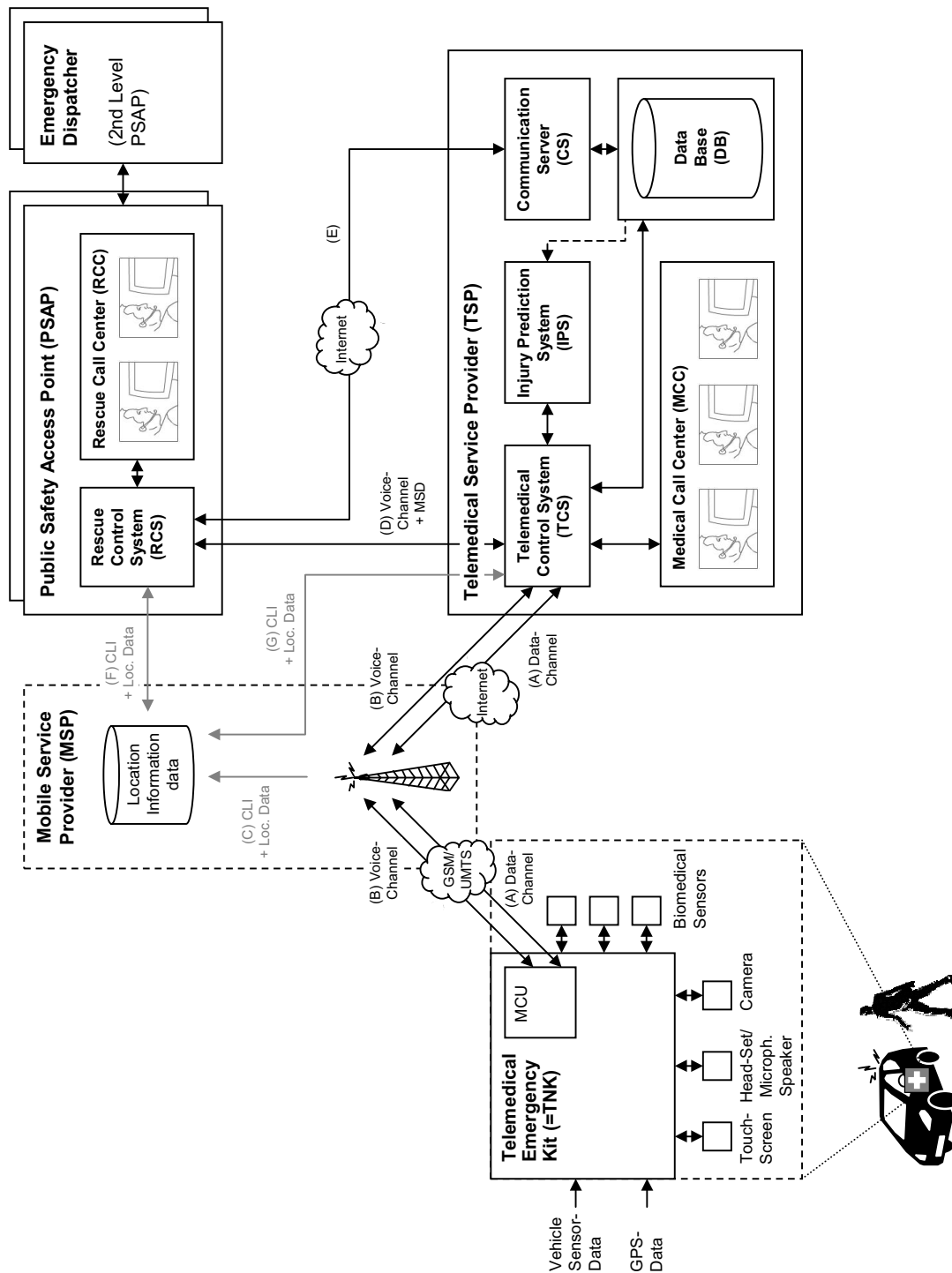


Abb. 43. Lösungsarchitektur des Telemedizinsystems ohne Einbeziehung der Rettungskräfte und Kliniken



Die Abbildung 43 zeigt die entwickelte Lösungsarchitektur des Telemedizinssystems mit den vorgesehenen Kommunikationskanälen zunächst ohne Einbeziehung der Rettungskräfte und der Kliniken.

In den PKWs, die mit dem System ausgestattet sind, wird ein telemedizinischer Notfallkoffer (TNK oder Telemedical Emergency Kit) mitgeführt. Der TNK verfügt über eine Verbindung zur Electronic Control Unit (ECU) und zum Navigationssystem der Fahrzeuge. Die ECU überwacht die Fahrzeugsensoren, aktiviert bei einem Unfall die Rückhaltesysteme und stellt die Sensordaten dem TNK zur Verfügung. Der TNK liest aus dem Navigationssystem kontinuierlich die aktuellen Positionsdaten aus und legt sie in einem Speicher ab, der rotierend überschrieben wird, so dass im TNK stets Informationen über die zuletzt vom Fahrzeug zurückgelegte Wegstrecke vorhanden sind. Der TNK beinhaltet ein Mobilfunkmodul (Mobile Communication Unit, MCU), über das eine Daten- und Sprachverbindung (A, B) zum Telemedical Service Provider (TSP) aufgebaut werden kann, um eine automatische Unfallmeldung abzusetzen und eine telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen zu ermöglichen. Für die manuelle Aktivierung des Systems verfügt der TNK über einen Notfalknopf. Die Sprachverbindung mit dem Fahrzeuginnenraum kann über eine integrierte Freisprecheinrichtung hergestellt werden. Zur Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen kann der telemedizinische Notfallkoffer aus dem Fahrzeug entnommen werden. Über ein Head-Set oder die Freisprecheinrichtung erfolgt die Kommunikation des Erst-Helfers mit dem TSP. Eine integrierte Kamera ermöglicht die Übertragung von Bildern oder Video-Sequenzen von der Unfallstelle. Über einen Display mit Touch-Screen kann der Erst-Helfer Informationen zur Durchführung der erforderlichen Maßnahmen erhalten. Die Darstellungen auf dem Display können vom TSP gesteuert werden. Des Weiteren ist im TNK ein Multi-Sensor-Armband integriert, das die Messung der Vitalparameter (Herzrate, Blutdruck) der verletzten Personen ermöglicht. Die Vitalparameter werden auf dem Display des TNK angezeigt und in Echtzeit an den TSP übertragen. Mit den dargestellten Funktionalitäten umfasst der TNK neben den Funktionen zur telemedizinischen Laienunterstützung auch die Funktionen des In Vehicle Systems (IVS) gemäß der eMERGE-Spezifikation.

Der Telemedical Service Provider (TSP) beinhaltet als Kommunikationszentrale des Telemedizinssystems das Telemedical Control System (TCS), das Injury Prediction System (IPS), das Medical Call Center (MCC) sowie die Datenbank (DB) und den Communication Server (CS). Das Telemedical Control System steuert den Kommunikationsfluss mit dem telemedizinischen Notfallkoffer, stellt eine Steuerungs- und Kommunikationsoberfläche für das Medical Call Center zur Verfügung und verwaltet die Notfallinformationen in der Datenbank (DB). Das Injury Prediction System erstellt auf der Grundlage von Informationen aus der automatischen Unfallmeldung eine

Prognose der Verletzungsintensität der Fahrzeuginsassen und leitet daraus eine Dispositionsempfehlung für die Rettungsleitstelle ab. Die Prognoseergebnisse werden als Bestandteil der Notfallinformationen (Emergency Informations, EI) in der Datenbank abgelegt. Die zuständige Rettungsleitstelle (Public Safety Access Point, PSAP) kann über eine Internetverbindung zum Communication Server (E) auf die Notfallinformationen in der Datenbank zugreifen. Je nach technischer Infrastruktur der Rettungsleitstelle kann der Communication Server eine Schnittstelle zum Einsatzleitsystem (Rescue Control System, RCS) bereitstellen oder eine Web-Oberfläche für den Abruf der Daten vom Leitstellenpersonal im Rescue Call Center (RCC) anbieten.

Der Mobilfunkprovider (Mobile Service Provider, MSP) hat in der Architektur die Aufgabe, die Datenverbindung zwischen dem telemedizinischen Notfallkoffer und dem Telemedical Service Provider über Standard-Technologien (GSM, UMTS) bereitzustellen und zur Verifikation der Standortinformationen eine Positionsbestimmung des telemedizinischen Notfallkoffers (nach dem Best-Effort-Prinzip, z.B. Feldstärkemessung) durchzuführen.<sup>68</sup> Die Positionsdaten werden vom Mobilfunkprovider in einer Datenbank abgelegt (C) und können vom Telemedical Service Provider und von der Rettungsleitstelle abgerufen werden (G, F).

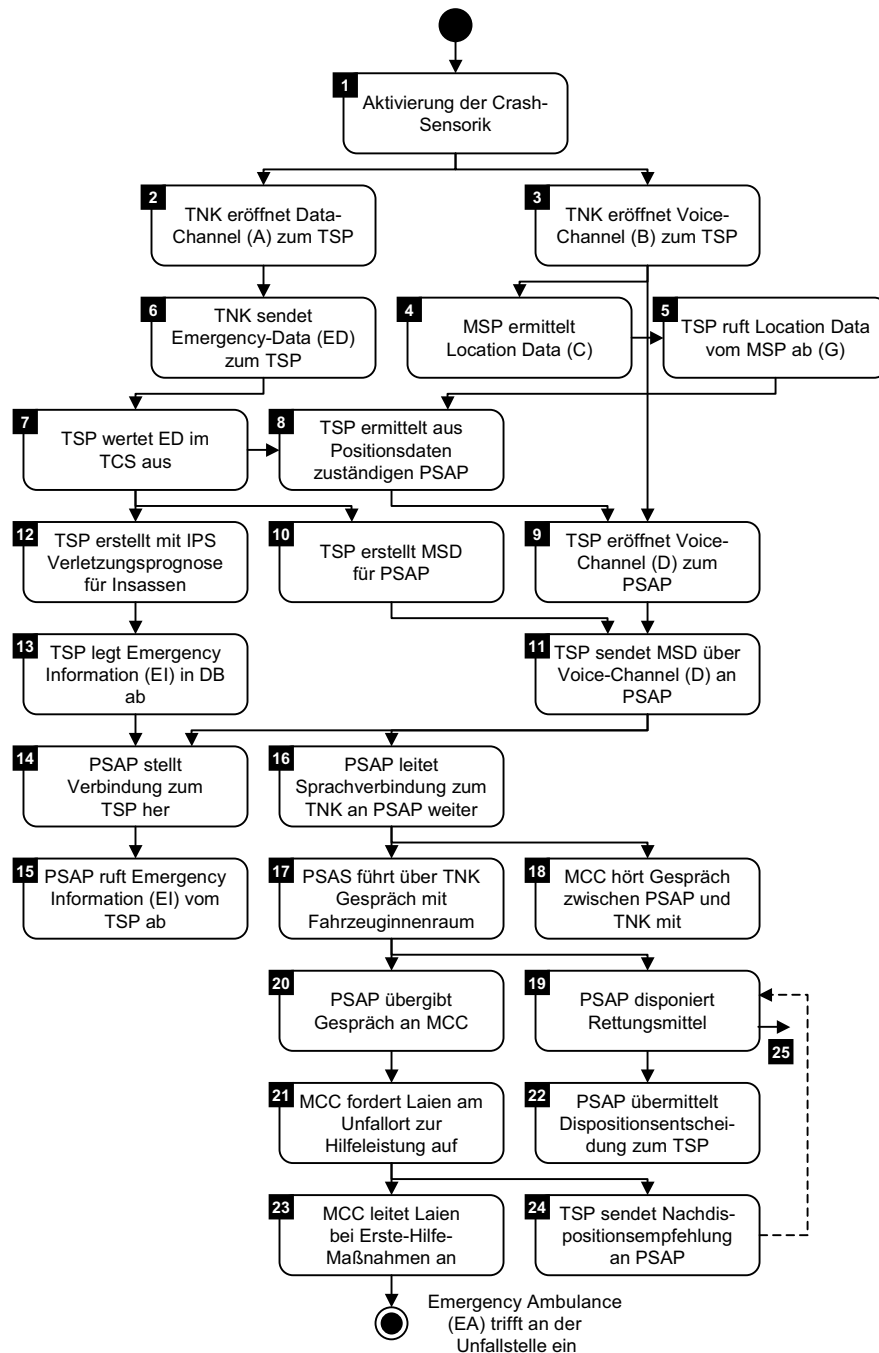
Die Abbildung 44 zeigt das Aktivitätsdiagramm für den Kommunikationsablauf zwischen den Elementen des Telemedizin systems nach einem Unfall, der zur Auslösung eines Rückhaltesystems (z.B. eines Airbags) im Fahrzeug führt.

Mit der Aktivierung der Crash-Sensorik im Fahrzeug (1) eröffnet der TNK eine Daten- und eine Sprachverbindung zum Telemedical Service Provider (2, 3). Der Mobilfunkprovider ermittelt die Positionsdaten des TNK und legt die Informationen in einer Datenbank ab (4). Der Telemedical Service Provider ruft anschließend über die Caller Line Identification (CLI)<sup>69</sup> des TNK die Positionsdaten aus der Datenbank des Mobilfunkproviders ab (5). Parallel sendet der TNK über den Datenkanal eine automatische Unfallmeldung mit den Positionsdaten des Fahrzeuges aus dem Navigationssystem und den Daten der Crash-Sensorik (Emergency Data, ED) zum Telemedical Service Provider (6), der die Daten im Telemedical Control System (TCS) auswertet (7).

---

<sup>68</sup> Die Positionsbestimmung wird vom Mobilfunkprovider aktuell nur durchgeführt, wenn ein Anruf an die Notrufnummer 112 gerichtet ist. Im dargestellten Lösungsansatz erfolgt vom TNK der Notruf zum Telemedical Service Provider, so dass die Mobilfunkprovider aufgefordert werden müssten, auch für diese Anrufe die Positionsdaten zu bestimmen.

<sup>69</sup> Caller Line Identification (CLI) des TNK entspricht der Telefonnummer der Mobile Communication Unit (MCU) des TNK.



**Abb. 44.** Aktivitätsdiagramm für den Kommunikationsfluss zwischen den Elementen des Telemedizinssystems

Auf der Grundlage der Positionsdaten aus dem Navigationssystem des Fahrzeuges und der Positionsinformation des Mobilfunkproviders wird vom Telemedical Service Provider im TCS die für den Unfallort zuständige Rettungsleitstelle (Public Safety Access Point, PSAP) ermittelt (8) und zu ihr ein Sprachkanal über eine Festnetzverbin-

dung eröffnet (9). Über diesen Sprachkanal sendet der Telemedical Service Provider gemäß den eMERGE-Spezifikationen als Notrufmeldung einen minimalen Datensatz (Minimum Set of Data, MSD) (11). Der Datensatz wird im TCS auf der Basis der vom TNK empfangenen Emergency Data erstellt (10) und enthält neben grundlegenden Informationen über den Unfall die Telemedical Service Provider-ID und eine User-ID<sup>70</sup>.

Zeitgleich wird beim Telemedical Service Provider im Injury Prediction System (IPS) eine Prognose der Verletzungsintensität der Fahrzeuginsassen erstellt und daraus eine Dispositionsempfehlung abgeleitet (12). Die Informationen werden vom TCS gemeinsam mit den aufbereiteten Notfallinformationen (Emergency Informations, EI) in der Datenbank abgelegt (13). Die Rettungsleitstelle (PSAP) stellt über die im minimalen Datensatz enthaltene Provider-ID und User-ID gemäß der eMERGE-Spezifikationen eine Verbindung zum Telemedical Service Provider her (14) und ruft die Notfallinformationen (u. a. die Dispositionsempfehlung) über den Communication Server ab (15). Die Informationen können automatisch in das Einsatzleitsystem übernommen werden. Zu diesem Zeitpunkt wäre die Rettungsleitstelle schon in der Lage, auf der Basis der Dispositionsempfehlung eine primäre Disposition der Rettungskräfte durchzuführen. Der gesamte Vorgang wird bis zu diesem Zeitpunkt nur wenige Sekunden beanspruchen, da der Informationsaustausch vollständig automatisiert erfolgt.

Nach der Übermittlung des MSD über den Sprachkanal zur Rettungsleitstelle stellt der Telemedical Service Provider über die bereits bestehenden Verbindungen eine Sprachverbindung zwischen der Rettungsleitstelle und dem telemedizinischen Notfallkoffer her (16). Über die Sprachverbindung mit dem Fahrzeuginsassenraum hat der Disponent in der Rettungsleitstelle die Möglichkeit, ein Gespräch mit den Fahrzeuginsassen zu führen, um weitere Informationen zur Verifikation der vorliegenden Dispositionsempfehlung zu erhalten (17). Das Medical Call Center (MCC) kann das Gespräch mithören, um sich bereits ein Bild über die Unfallsituation zu verschaffen (18). Nach Abschluss des Gesprächs zwischen der Rettungsleitstelle und den Fahrzeuginsassen trifft der Disponent die Dispositionsentscheidung und löst die Alarmierung der Rettungskräfte aus (19).<sup>71</sup> Die getroffene Dispositionsentscheidung wird entweder automatisch vom Einsatzleitsystem oder manuell vom Disponenten über den Communication Server in der Datenbank des Telemedical Service Providers abgelegt und kann vom Medical Call Center abgerufen werden.

---

<sup>70</sup> Die User-ID kennzeichnet einen bestimmten TNK.

<sup>71</sup> Um die Alarmierung der Rettungskräfte nicht zu verzögern, wäre es denkbar, dass der Disponent diese Entscheidung innerhalb einer definierten Zeit (z. B. 30 Sekunden) trifft. Können in dieser Zeit keine weiteren Informationen gewonnen werden, wird die Dispositionsempfehlung als alleinige Grundlage für die Dispositionsentscheidung verwendet.

Nach Abschluss des Gesprächs zwischen der Rettungsleitstelle und den Fahrzeuginsassen übergibt der Disponent die Gesprächsführung an das Medical Call Center (20). Das Medical Call Center hat die Möglichkeit, über die Freisprecheinrichtung des TNK am Unfallort anwesende Personen zur Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen aufzufordern (21). Findet sich ein Erst-Helfer, kann das Medical Call Center ihn bitten, den telemedizinischen Notfallkoffer aus dem Fahrzeug zu entnehmen, die Kamera und das Head-Set zu aktivieren und ihren Anweisungen zu folgen (23). Über das Multi-Sensor-Armband können anschließend die Vitalparameter der verletzten Person in das Medical Call Center übertragen und dort als Entscheidungsgrundlage für die vom Erst-Helfer durchzuführenden Erste-Hilfe-Maßnahmen genutzt werden. Kommt das Medical Call Center im Rahmen der Laienunterstützung zu dem Ergebnis, dass die disponierten Rettungsmittel nicht adäquat sind, kann es eine Nachdispositionsempfehlung an die Rettungsstelle versenden (24).

Verfügen am Unfallort anwesende Personen über einen eigenen telemedizinischen Notfallkoffer (z. B. aus einem anderen PKW), kann dieser zur Meldung des Unfalls und zur Unterstützung bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen manuell aktiviert werden. Der Kommunikationsablauf zwischen den einzelnen Elementen des Telemedizinsystems unterscheidet sich nur in den Bereichen, in denen eine Auswertung von Daten der Fahrzeugsensorik vorgenommen wird.

In der Abbildung 45 ist ein möglicher Lösungsansatz für eine erweiterte Architektur des Telemedizinsystems dargestellt, in der die Rettungskräfte (Emergency Ambulance, EA) und die Zielkliniken (Hospital) berücksichtigt werden. Durch die Einbeziehung dieser Teilnehmer der Rettungskette in das Telemedizinsystem können

- die anfahrenden Rettungskräfte besser über die Situation an der Unfallstelle informiert,
- die Notärzte oder die Rettungsassistenten bei der Durchführung der Erst-Versorgung bei Bedarf telemedizinisch unterstützt,
- die Auswahl der Zielkliniken durch die Notärzte oder die Rettungsassistenten vereinfacht,
- die ausgewählte Zielklinik über die Art der Verletzungen der Notfallpatienten vorab informiert und
- eine Vereinfachung der Einsatzdokumentation ermöglicht

werden.

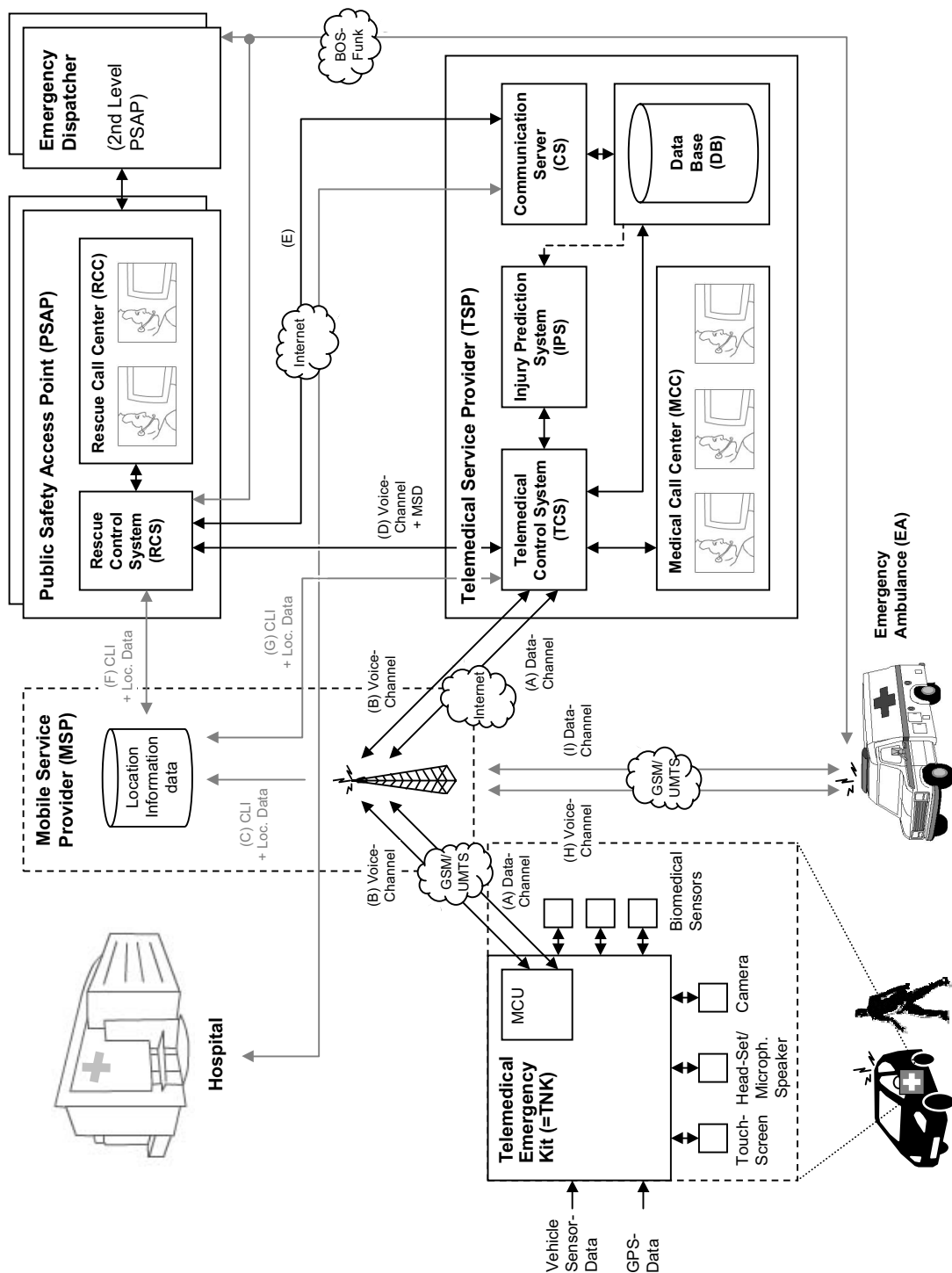


Abb. 45. Lösungsarchitektur des Telemedizinsystems mit Einbeziehung der Rettungskräfte und Kliniken

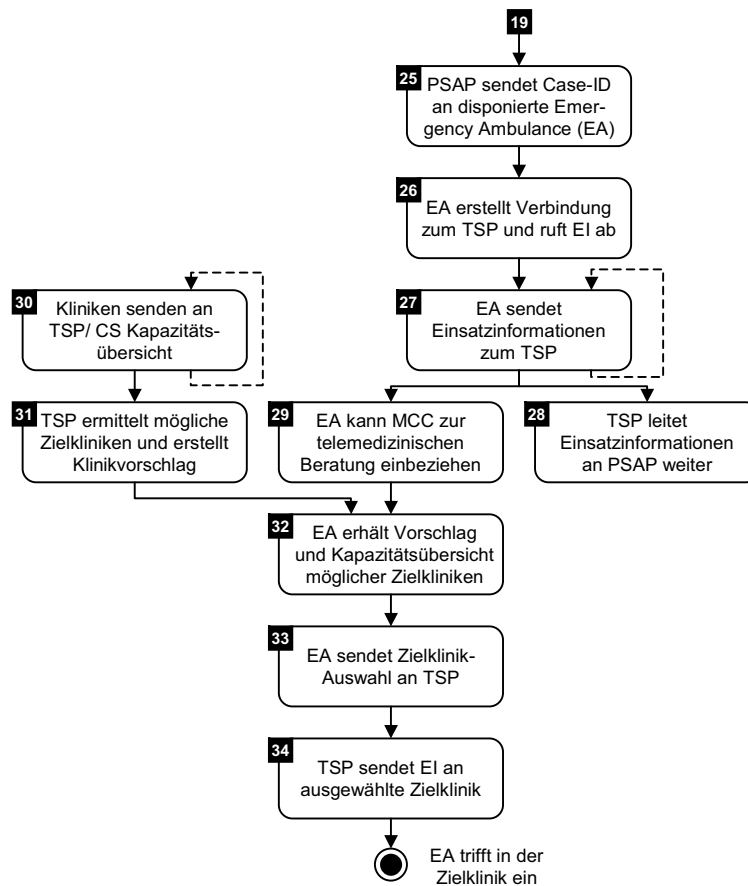
Die Rettungskräfte werden dazu mit einer mobilen Kommunikationseinheit ausgestattet, die eine Audio-, Video- und Datenkommunikation mit dem Telemedical Service

Provider ermöglicht. Für die Gestaltung dieser dem TNK ähnlichen Einheit kann auf das NOAH-System<sup>72</sup> verwiesen werden [Nehrlich2004, Schächinger2001]. Die beteiligten Kliniken werden über eine Internetverbindung mit dem Communication Server des TSP in den Kommunikationsverlauf eingebunden.

Die Erweiterung des Kommunikationsverlaufs ist im Aktivitätsdiagramm der Abbildung 46 dargestellt. Um den alarmierten Rettungskräften einen Zugriff über ihre mobile Kommunikationseinheit auf alle relevanten Informationen des Notfalls zu ermöglichen, sendet die Rettungsleitstelle bei der Alarmierung den Rettungskräften eine Identifikationsnummer des Notfalls (Case-ID) zu (25). Mit der Identifikationsnummer melden sich die Rettungskräfte beim Telemedical Service Provider an und können bereits während der Anfahrt alle relevanten Informationen abrufen und ggf. die Kommunikation zwischen Erst-Helfer und Medical Call Center mitverfolgen, um sich ein detailliertes Bild von der Unfallsituation zu verschaffen. Der gesamte Kommunikationsfluss (u.a. Einsatzdaten, Lagemeldung, Nachforderung von Einsatzkräften, Erstmeldung über die Lage des Notfallpatienten) zwischen Rettungskräften und der Rettungsleitstelle kann anschließend über die mobile Kommunikationseinheit abgebildet werden und die bisherigen Kommunikationswege (z.B. BOS-Funk) entlasten bzw. ersetzen (27). Die Daten werden in der Datenbank des Telemedical Service Providers abgelegt und an das Einsatzleitsystem der zuständigen Rettungsleitstelle übermittelt (28). Alle Informationen die in den bestehenden Einsatzleitsystemen nicht abgebildet werden können, können von der Rettungsleitstelle über eine Web-Oberfläche des Communication Servers abgerufen werden.

---

<sup>72</sup> Notfall-, Organisations- und Arbeitshilfe (NOAH)



**Abb. 46.** Erweiterung des Aktivitätsdiagramms bei Einbeziehung der Rettungskräfte und Kliniken

Zur Unterstützung der Rettungskräfte bei der Erstbehandlung an der Unfallstelle können bei Bedarf erfahrene Ärzte aus dem Medical Call Center des Telemedical Service Providers über eine Videokonferenz eingebunden werden (29). Um eine bestmögliche Auswahl der Zielklinik durch die Rettungskräfte sicherzustellen, müssen die beteiligten Kliniken ihre Belegungskapazitäten an den Telemedical Service Provider melden (30). Dies kann entweder über Schnittstellen zu bestehenden IT-Systemen der Kliniken oder über eine Web-Oberfläche des Telemedical Service Providers erfolgen.

Der TSP erstellt eine Übersicht über die möglichen Zielkliniken mit ihren freien Behandlungskapazitäten im Umkreis des Unfallortes und sendet diese Informationen zusammen mit einem Zielklinikvorschlag an die Rettungskräfte (31, 32). Die Rettungskräfte teilen anschließend dem Telemedical Service Provider die ausgewählte Zielklinik mit (33), so dass die Klinik über die zu erwartende Einlieferung, die Verletzungen sowie den Zustand des Patienten informiert werden kann (34). Durch die Vorinformation kön-



nen in der Zielklinik die erforderlichen Vorbereitungen für die Versorgung des Patienten getroffen werden, so dass die Vorlaufzeit verkürzt wird.

Der dargestellte Lösungsansatz unterscheidet sich von der eMERGE-Rahmenarchitektur insbesondere darin, dass die automatische Unfallmeldung der mit dem System ausgestatteten Fahrzeuge nicht direkt über die Notrufnummer E112 in der Rettungsleitstelle eingeht, sondern über den Telemedical Service Provider zur Rettungsleitstelle weitergeleitet wird. Dieser Strukturunterschied ist erforderlich, um einen reibungslosen Übergang von der Unfallmeldung zur telemedizinischen Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen zu ermöglichen. Ein zusätzlicher Vorteil dieser Struktur liegt darin, dass das Telemedizinsystem bereits flächendeckend genutzt werden kann, ohne umfangreiche Anpassungen an der technischen Infrastruktur der Rettungsleitstellen vornehmen zu müssen. Fehlerhafte oder versehentlich Unfallmeldungen können durch den Provider herausgefiltert werden und führen nicht zu einer Belastung der Rettungsleitstellen. Trotz der strukturellen Unterschiede zur eMERGE-Rahmenarchitektur wird die Kompatibilität zur eMERGE-Spezifikation durch die Bereitstellung entsprechender Schnittstellen (u. a. die Erstellung und Versendung eines minimalen Datensatzes als Unfallmeldung zur Rettungsleitstelle) sichergestellt.



## Zusammenfassung

Für die Überlebenswahrscheinlichkeit und den Rehabilitationserfolg der Unfallopfer nach Straßenverkehrsunfällen sind in der präklinischen Notfallversorgung die Zeitspanne vom Unfall bis zur ersten suffizienten Hilfeleistung (therapiefreies Intervall) und die Qualität der Erstversorgung - erbracht von zufällig anwesenden Laien oder vom professionellen Rettungsdienst - von wesentlicher Bedeutung.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Ansätze zur Verbesserung der präklinischen Notfallversorgung durch den Einsatz von telematischen und telemedizinischen Technologien identifiziert und im Detail analysiert: (1) die telematische Prognose der Verletzungsintensität von Fahrzeuginsassen und (2) die telemedizinische Unterstützung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen.

(1) Automatische Notrufsysteme in Fahrzeugen übermitteln nach einem Unfall die Position des Fahrzeuges an die zuständige Rettungsleitstelle. Damit kann die Meldezeit auf ein Minimum reduziert werden. Für eine adäquate Disposition der Rettungsmittel sind in der Leitstelle jedoch neben Informationen über den Unfallort insbesondere Hinweise über die Verletzung der Fahrzeuginsassen erforderlich. Eine flächendeckende Einführung von automatischen Notrufsystemen - wie sie im Rahmen der Initiative eSafety der Europäischen Union ab 2009 vorgesehen ist - würde ohne Informationen über die Verletzungsintensität der Insassen zu einer Überlastung des Rettungsdienstes führen. Eine Prognose der Verletzungsintensität ist durch die automatische Auswertung von Informationen der Fahrzeugsensorik möglich. Die Daten können mit der Unfallmeldung an einen Provider übertragen und als Eingangsgrößen für ein Prognosemodell genutzt werden.

In dieser Arbeit wurden Prognosemodelle mit inferenzstatistischen Verfahren auf der Basis des deutschen und amerikanischen Unfallgeschehens entwickelt, die Bedeutung einzelner Eingangsgrößen untersucht und die Leistungsfähigkeit der Modelle überprüft. Dabei fanden die logistische Regression aus dem Bereich der klassischen multivariaten Statistik und die Entscheidungsbauminduktion aus dem Bereich des maschinellen Lernens Anwendung. Die Leistungsfähigkeit der beiden Verfahren war vergleichbar. Mehrere Strategien zur Erstellung einer adäquaten Dispositionsempfehlung mit Hilfe der eingesetzten Prognoseverfahren wurden entwickelt. Es zeigte sich, dass bereits mit wenigen automatisch erfassbaren Eingangsgrößen eine Dispositionsempfehlung erstellt werden kann, die in der Qualität der heutigen Dispositionsentscheidung auf der Grundlage eines Telefongesprächs zwischen Unfallmelder und Rettungsleitstelle entspricht. Die Prognosemodelle können eine wichtige Ergänzung für automatische Notrufsysteme bilden, so dass in der Rettungsleitstelle bereits mit der Unfallmeldung auch ohne ein

Gespräch mit Fahrzeuginsassen oder Unfallzeugen eine adäquate primäre Disposition der Rettungsmittel möglich wird.

(2) Eine weitere Verkürzung des therapiefreien Intervalls kann durch suffiziente Erste-Hilfe-Maßnahmen von zufällig am Unfallort anwesenden Laien erreicht werden. Aufgrund des Zeitvorteils haben zufällig anwesende Personen in kritischen Notfallsituationen deutlich bessere Ausgangsbedingungen, dem Patienten zu helfen, als der i. d. R. später eintreffende Rettungsdienst. Studien zeigen, dass in vielen Fällen zwar potentielle Helfer am Unfallort anwesend sind, doch nur in wenigen Fällen die erforderlichen Maßnahmen in ausreichender Qualität durchgeführt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, ob die telemedizinische Anleitung von Laien bei der Durchführung von Erste-Hilfe-Maßnahmen zu einer Erhöhung der Hilfsbereitschaft führt und welche Anforderungen ein Telemedizinsystem erfüllen muss. Auf der Grundlage der deutschen Unfalldatenbank GIDAS wurden dazu die am häufigsten indizierten Erste-Hilfe-Maßnahmen nach Straßenverkehrsunfällen untersucht, der Stand der heutigen Laienhilfe analysiert, die erforderlichen Funktionen eines Telemedizinsystems zur Unterstützung der wichtigsten Erste-Hilfe-Maßnahmen abgeleitet und der Einfluss einer verbesserten Laienhilfe auf die Überlebenswahrscheinlichkeit bestimmt. Es zeigte sich, dass eine telemedizinische Laienunterstützung die Wirkung der hemmenden Determinanten der Bereitschaft von Laien zur Erste-Hilfe-Leistung verringert und damit die Hilfsbereitschaft signifikant erhöht. Die Audiokommunikation zwischen Erst-Helfer und medizinischem Call Center und die Messung und Übertragung der Herzrate und des Blutdrucks wurden als wichtigste Funktionen eines Telemedizinsystems eingestuft. In einer multivariaten logistischen Regressionsanalyse der Einflussfaktoren auf die Überlebenswahrscheinlichkeit nach Straßenverkehrsunfällen konnte gezeigt werden, dass eine Verbesserung der Qualität der Erste-Hilfe-Maßnahmen - wie sie bei einer telemedizinischen Laienunterstützung zu erwarten ist - die Anzahl der bei Straßenverkehrsunfällen getöteten Personen um rund 9% reduzieren kann.

Aufbauend auf den Ergebnissen wurde die Architektur für einen Lösungsansatz zur Optimierung der präklinischen Notfallversorgung nach Straßenverkehrsunfällen konzipiert.

Im Rahmen der eSafety Initiative der Europäischen Union wird aktuell an einer europaweiten Vereinheitlichung der Architektur für automatische Notrufsysteme gearbeitet. Um zukünftig eine optimale präklinische Notfallversorgung zu erreichen, wäre es dringend erforderlich, die telematische Prognose der Verletzungsintensität und die telemedizinische Unterstützung von Laien in der Architektur bereits jetzt zu berücksichtigen. Dabei kann der dargestellte Lösungsansatz als Ausgangsbasis dienen.

## Literatur

- AAAM1998      *The Abbreviated Injury Scale - 1990 Revision, Update 98.* Association for the Advancement of Automotive Medicine, 1998
- Ahmad2004      Ahmad A, Homer M, Wang P: *Accuracy and Utility of Multi-Sensor Armband ECG Signal Compared With Holter Monitoring.* <http://www.bodymedia.com>, Download 2004
- Appel2002      Appel H, Krabbel G, Vetter D: *Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion.* Verlag Information Ambs GmbH, Kippenheim, Germany, 2002
- Auerbach2005      Auerbach H: *Gesundheitsökonomische Evaluation eines Telemedizinssystems für die präklinische Notfallrettung bei Verkehrsunfällen in Deutschland.* Charité - Universitätsmedizin Berlin, unveröffentlichte Dissertation, 2005
- Augenstein2001      Augenstein JS, Digges KH, Ogata S, Perdeck E, Stratton J: *Development and Validation of the Urgency Algorithm to Predict Compelling Injuries.* The William Lehman Injury Research Center, Miami, 2001
- Augenstein2002      Augenstein JS, Perdeck E, Stratton J: *Validation of the Urgency Algorithm for Near-Side Crashes.* The William Lehman Injury Research Center, Miami, 2002
- Augenstein2003      Augenstein JS, Perdeck E, Stratton J, Digges KH, Bahouth G: *Characteristics of crashes that increases the risk of serious injuries.* Annual proceedings AAAM 2003, 47: 561-576
- Axelsson2000      Axelsson A, Herlitz J, Fridlund B: *How bystander perceive their cardiopulmonary resuscitation intervention - a qualitative study.* Resuscitation 2000, 47: 71-81
- Backhaus2003      Backhaus K, Erichson E, Plinke W, Weiber R: *Multivariate Analysemethoden.* 10. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2003
- Bahouth2004      Bahouth G, Digges KH, Bedewi E, Kuznetsov MS, Augenstein JS, Perdeck E: *Development of URGENCY 2.1 for the Prediction of Crash Injury Severity.* Top Emerg Med 2004, 26: 157-165

- Bahr1997 Bahr J, Klingler H, Panzer W, Rode H, Kettler D: *Skills of lay people in checking the carotid pulse*. Resuscitation 1997, 35: 23-26
- Bahr2001 Bahr J, Panzer W, Klingler H: *Herz-Lungen-Wiederbelebung durch Ersthelfer - Einige Ergebnisse und Folgen aus dem Göttinger Pilotprojekt*. AINS 2001, 36: 573-579
- Bahr2001a Bahr J, Panzer W, Rode H, Schmid O, Heise D, Hein S, Schäfer N, Kettler D, Klingler H: *Projekt RUFAN: Reanimation unter fernmündlicher Anleitung*. Rettungsdienst 2001, 24: 346-348
- BÄK2005 *Indikationskatalog für den Notarzteinsatz*. Bundesärztekammer, <http://www.bundesärztekammer.de>, Download 2005
- BAND2000 *Stellungnahme zur Hilfsfrist im Rettungsdienst (Notfallrettung)*. <http://www.band-online.de>, Download 2004
- Bartsch1989 Bartsch A, Schüttler J, Kulka P, Nadstawek J, Sühling B: *Laienhilfe im akuten Notfall*. Der Notarzt 1989, 5: 77-81
- BAST2004 Höhenscheid KJ, Straube M: *Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland 2002*. BaSt, 2004
- BerlinerF2005 Einsatzstichwortkatalog der Berliner Feuerwehr, Auszug 2000
- Bierhoff1998 Bierhoff HW: *Sozialpsychologie: ein Lehrbuch*. Kohlhammer-Verlag, Stuttgart, Berlin, Köln, 1998
- Bierhoff1990 Bierhoff HW, Klein R, Kramp P: *Hemmschwellen zur Hilfeleistung - Untersuchung der Ursachen und Empfehlung von Maßnahmen zum Abbau*. Bundesanstalt für Straßenwesen BaSt (Hrsg), Wirtschaftsverlag NW, Bergisch Gladbach, 1990
- Bierhoff1990A Bierhoff HW: *Psychologie hilfreichen Verhaltens*. Kohlhammer-Verlag, Stuttgart, Berlin, Köln, 1990
- Biewener2005 Biewener A, Aschenbrenner U, Sauerland S, Zwipp H, Rammet S, Sturm JA: *Einfluss von Rettungsmittel und Zielklinik auf die Letalität nach Polytrauma - Eine Standortbestimmung*. Unfallchirurg, Online Publikation 12. April 2005
- Billittier1999 Billittier AJ, Lerner EB, Tucker W, Lee J: *The lay public's expectations of prearrival instructions when dialing 9-1-1*. Prehospital Emergency Care 2000, 4: 234-237

- Binting1980      Binting A: *The Efficiency of Various Estimations of Reliability of Rating-Scales*. Educational and Psychological Measurement 1980, 40: 619-644
- Bortz1993      Bortz J: *Statistik für Sozialwissenschaftler*. 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1993
- Böttiger2003      Böttiger BW, Groeben H, Heine J: *Notfallmedizin - Verbessertes Überleben bei Herz-Kreislauf-Stillstand durch neue Konzepte und Therapieverfahren*. AINS 2003, 38: 63-67
- Bradley1997      Bradley AP: *The use of the area under the ROC Curve in the evaluation of maschine learning algorithms*. Pattern Recognition 1997, 30: 1145-1159
- Brenner1997      Brenner B, Van D, Cheng D, Lazar E: *Determinants of reluctance to perform CPR among residents and applicants: The impact of experience on helping behavior*. Resuscitation 1997, 35: 203-211
- Buchfelder1999      Buchfelder M, Buchfelder A: *Handbuch der Ersten Hilfe*. Buchfelder M (Hrsg), 3. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart, 1999
- Burger2003      Burger P, Osswald S: *Das EKG in der Telemedizin*. Schweizer Med Forum 2003, 27: 641-643
- BVBW2003      *Unfallverhütungsbericht Straßenverkehr 2002/2003*. Bundesministerium für Verkehr BuW (Hrsg), 2003
- Callies2000      Callies A, Käthner A, Banderner G, Kuckult W, Böhmert F: *Laienreanimation: notwendige Ergänzung eines effektiven Rettungsdienstes*. Rettungsdienst 2000, 46-51
- Cara1981      Cara M: *Tentative classification of emergency situations*. Planning and Organization of Emergency Medical Services, Euro Report an Studies 35, WHO (Hrsg), Kopenhagen, 1981, 21-28
- Carter1984      Carter WB, Eisenberg MS, Hallstrom AP: *Development and implementation of emergency CPR instruction via telephone*. Annals of Emergency Medicine 1984, 13: 695-700
- Champion2004      Champion H, Augenstein JS, Blatt AJ, Cushing B, Digges KH, Siegel JH, Fanigan MC: *Automatic Crash Notification and the URGENT Algorithm*. Top Emerg Med 2004, 26: 143-156

- Culley1991 Culley L, Clark JJ, Eisenberg MS, Larsson MP: ***Dispatcher-assisted telephone CPR: common delays and time standards for delivery.*** Annals of Emergency Medicine 1991, 20: 362-366
- Darley1968 Darley JM, Latané B: ***Bystander intervention in emergencies: Diffusion of responsibility.*** Journal of Personality and Social Psychology 1968, 8: 377-383
- DESTATIS2003 ***Straßenverkehrsunfälle.*** Statistisches Bundesamt (Hrsg), Wiesbaden, 2003
- Dick2002B Dick WF, Lemburg P, Schildberg FW, Schuster HP: ***Leitlinien des European Resuscitation Council 2000 für lebensrettende Sofortmaßnahmen beim Erwachsenen.*** Notfall & Rettungsmedizin 2002, 5: 8-13
- Dick2003A Dick W: ***Maßnahmen durch Ersthelfer am Unfallort - wertvoll oder gefährlich?*** Wien Klin Wochenschr 2003, 115: 673-675
- Digges2001 Digges KH: ***The URGENCY Algorithm, a Thermometer for Trauma.*** Proceedings of the Annual VDI Conference (Hrsg), Berlin, Germany, 2001
- Donner1999 Donner-Banzhoff N, Schuster C, Hofmann S, Baum E: ***Notfallversorgung durch Ersthelfer - Epidemiologie und Versorgungs-Qualität in einer ländlichen Region.*** AINS 1999, 34: 145-150
- Döriges2001 Döriges V, Lindner KH, Wenzel V: ***Spontanatmung - Schnap-patmung - Beatmung?*** Notfall & Rettungsmedizin 2001, 4: 557-571
- Eberle1996 Eberle B, Dick WF, Schneider T, Wisser G, Doetsch S, Tzanova I: ***Checking the carotid pulse: diagnostic accuracy of first responders in patients with and without a pulse.*** Resuscitation 1996, 33: 107-116
- Eisenberg1985 Eisenberg MS, Hallstrom AP, Carter WB: ***Emergency CPR instruction via telephone.*** American Journal of Public Health 1985, 75: 47-50
- Ellinger2002 Ellinger K, Genzwürker H: ***Die neue Rolle der Rettungsleit-stelle: Medical Call Center.*** Notfall & Rettungsmedizin 2002, 5: 516-518



- eMERGE2003 *eMerge Compiled evaluation results*. IST-2001-34061-E-MERGE, European Commission DG Information Society, 2004
- EU2003A *Halbierung der Zahl der Unfallopfer im Straßenverkehr in der Europäischen Union bis 2010: eine gemeinsame Aufgabe*. Europäische Kommission, Brüssel, 2003
- Fawcett2003 Fawcett T: *ROC Graphs: Notes and Practical Considerations for Data Mining Researchers*. Hewlett-Packard Company, 2003
- Gallagher1995 Gallagher EJ, Lombardi G, Gennis P: *Effectiveness of bystander cardiopulmonary resuscitation and survival following out-of-hospital cardiac arrest*. Journal of the American Medical Association 1995, 274: 1922-1925
- Geck1998 Geck B: *Das Notrufsystem TELE AID (Telematic Alarm Identification on Demand)*. Der Notarzt 1998, 14: 146
- Genzwürker2002 Genzwürker H, Mattern R, Ellinger K: *Potenzieller Nutzen digitaler Bilddokumentation für den präklinischen Bereich*. Notfall & Rettungsmedizin 2002, 5: 135-137
- Grossert2003 Grossert G, Planert D: *Untersuchung der Effektivität der Lehrgänge Lebensrettende Sofortmaßnahmen*. Dissertation, Universität Halle, Halle, 2003
- GST2005 <http://www.gstforum.org/>, Download 2005
- Handl2002 Handl A: *Multivariate Verfahren*. Springer Verlag, Germany, 2002
- Handley2001 Handley AJ, Monsieurs KG, Bossaert LL: *European Resuscitation Council Guidelines 2000 for Adult Basic Life Support*. Resuscitation 2001, 48: 199-205
- Hinkelbein2004 Hinkelbein J, Gröschel J, Krieter H: *Zeitpunkte und Zeitabschnitte zur Beschreibung der Struktur- und Prozessqualität im organisatorischen Rettungsablauf*. Der Notarzt 2004, 125-132
- Hoeyweghen1993 Van Hoeyweghen RJ, Bossaert LL, Mullie A, Calle P, Martens P, Buylaert WA, Delooz H: *Quality and efficiency of bystander CPR*. Resuscitation 1993, 26: 47-52
- Hussain1994 Hussain L, Redmond A: *Are pre-hospital deaths from accidental injury preventable?* BMJ 1994, 308: 1077-1080

- IIS2004 [http://www.iis.fraunhofer.de/pub\\_rel/presse/2004/multisensor/index\\_d.html](http://www.iis.fraunhofer.de/pub_rel/presse/2004/multisensor/index_d.html), Download 2004
- Issing2005 Issing MM, Karrer K: *Effects of telemedical bystander support on helping behavior after traffic accidents*. Ergonomics, Artikel in Vorbereitung
- Issing2005A Issing MM, Pfeifer S, Nguyen-Dobinsky T, Schindler V: *Automatische Prognose der Verletzungsschwere zur Optimierung der Dispositionsentscheidung des Rettungsdienstes*. VDI-Tagungsband: Innovativer KFZ-Insassen- und Partnerschutz, VDI (Hrsg), Artikel angenommen 20.9.2005
- Kanz2002 Kanz KG, Linsenmaier U, Pfeifer KJ, Mutschler W: *Standardisierte Bewertung von Unfallverletzten: Anforderung an die bildgebende Diagnostik*. Radiologe 2002, 42: 515-521
- Kellermann1989 Kellermann AL, Hackman BB, Somes G: *Dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation. Validation of efficacy*. Circulation 1989, 80: 1231-1239
- Koppenberg1997 Koppenberg J: *Analyse der Notrufe von 510 Notarzteinsätzen in Würzburg*. Klinik für Anaesthesiologie der Universität Würzburg, 2005
- Kraemer1992 Kraemer HC: *Evaluating Medical Tests*. Sage Publications, 1992
- Kramer1998 Kramer F: *Passive Sicherheit von Fahrzeugen*. Vieweg & Sohn, Braunschweig/ Wiesbaden, 1998
- Lackner1999A Lackner CK, Ruppert M, Uhl M, Reith MW, Winterberg M, Peter K: *Analyse von Verzögerungen und Unterbrechungen bei außerklinischer CPR*. Notfall & Rettungsmedizin 1999, 2: 274-284
- Lackner2001 Lackner CK, Kanz KG, Rothenberger S, Ruppert M: *AED Anwenderperformanz von Laien- und Ersthelfern*. Notfall & Rettungsmedizin 2001, 4: 572-584
- Lechleuthner1998 Lechleuthner A: *Fortschritte in Notfallmedizin und Rettungswesen - Proceedings 1*. Stumpf & Kossendy Verlag, Edewecht, 1998
- Lenz2000 Lenz W, Luderer M, Seitz G, Lipp M: *Die Dispositionsqualität einer Rettungsleitstelle*. Notfall & Rettungsmedizin 2000, 3: 72-80

- Malliaris1997 Malliaris AC, Digges KH, DeBlois JH: ***Relationships between Crash Casualties and Crash Attributes***. SAE970393, Society of Automotive Engineers, Washington, USA, 1997
- Mather1996 Mather C: ***The palpitation of pulse***. Anaesthesia 1996, 51: 189-191
- Mauritz2003 Mauritz W, Pelinka L, Kaff A, Segall B, Fridrich P: ***Maßnahmen durch Ersthelfer am Unfallort***. Wien Klin Wochenschr 2003, 115: 698-704
- MUVBW1996 ***Telematik im Verkehr***. Schriftenreihe der Straßenbauverwaltung, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, 1996
- NCSA2002 ***National Automotive Sampling System (NASS) Crashworthiness Data System - Analytical User's Manual***. NCSA - National Center for Statistics and Analysis, 2002
- Nehrlich2004 Nehrlich M: Das Projekt NOAH: ***Notfall Organisations- und Arbeitshilfe***. <http://www.noah-regensburg.de>, Download 2005
- Oestern1999 Oestern HJ: ***Versorgung Polytraumatisierter im internationalen Vergleich***. Unfallchirurg 1999, 102: 80-91
- Otte2004A Otte D, Krettek C, Brunner H, Zwipp H: ***Scientific Approach and Methodology of an New In-Depth-Investigation Study in Germany so called GIDAS***. 2004
- Puhan1994 Puhan T: ***Nachalarmierung von Notärzten im Rettungsdienst***. Berichte der Bundesanstalt für Straßenverkehr - Mensch und Sicherheit M 26, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1994
- Rea2001 Rea TD, Eisenberg MS, Culley L, Becker L: ***Dispatcher-Assisted Cardiopulmonary Resuscitation and Survival in Cardiac Arrest***. Circulation 2001, 104: 2513-2516
- Reith1999 Reith MW, Widmann JH, Ruppert M, Hanle S, Lackner CK, Kerkmann R, Schweiberer L, Peter K: ***Evaluation der Prozess- und Ergebnisqualität von Atemkontrollen***. Notfall & Rettungsmedizin 1999, 2: 18-28
- RESIKO1998 ***"RESIKO" Retrospektive Sicherheitsanalyse von Pkw-Kollisionen mit Schwerverletzten***. Institut für Fahrzeugsicherheit, GDV, München, 1998

- Richter2001 Richter M, Krettek C, Otte D et al.: ***Correlation between Crash Severity, Injury Severity, and Clinical Courses in Car Occupants with Thoracic Trauma: A Technical and Medical Study.*** J Trauma 2001, 50: 10-16
- Rufan2005 <http://www.rufan-goettingen.de/info/>, Download 2005
- Schächinger1999 Schächinger U, Stieglitz S P, Kretschmer R, Nerlich M: ***Telemedizin und Telematik in der Notfallmedizin.*** Notfall & Rettungswesen 1999, 2: 468-477
- Schächinger2001 Schächinger U, Röckelein W, Neumann C, Nerlich M: ***NOAH (Notfall-, Organisations- und Arbeitshilfe) - Telematik in der präklinischen Notfallmedizin.*** Jäckel A (Hrsg), Telemedizin-führer Deutschland 2001, Bad Nauheim, Ausgabe 2001: 118-123
- Schäfer2001 Schäfer S, Pohl-Meuten U: ***Erste-Hilfe-Kenntnisse in der Bevölkerung - Repräsentative Bevölkerungsbefragung 1993 und 2000.*** Schriftenreihe zum Rettungswesen Band 25. DRK-LV Westfalen-Lippe, Institut für Rettungswesen des Deutschen Roten Kreuzes (Hrsg), Nottuln, 2001
- Schlechtriemen2000 Schlechtriemen T, Altemeyer KH: ***Primat in der Notfallmedizin - Zeitdefinitionen im Rettungsdienst.*** Notfall & Rettungsmedizin 2000, 3: 375-380
- Schlechtriemen2003 Schlechtriemen T, Lackner CK, Moecke H, Stratmann D, Altemeyer KH: ***Sicherung der flächendeckenden Notfallversorgung: notwendige Strukturverbesserungen.*** Notfall & Rettungsmedizin 2003, 6: 419-426
- Schmiedel2002 Schmiedel R, Moecke H, Behrendt H: ***Optimierung von Rettungsdiensteinsätzen - Praktische und ökonomische Konsequenzen.*** Bundesanstalt für Straßenwesen BaSt (Hrsg), Wirtschaftsverlag NW, Bergisch Gladbach, 2002
- Schmiedel2002A Schmiedel R, Behrendt H: ***Leistungen des Rettungsdienstes 2000/01.*** Bundesanstalt für Straßenwesen BaSt (Hrsg), Wirtschaftsverlag NW, Bergisch Gladbach, 2002
- Schnoor2003 Schnoor J, Herfurtner-Pröppner C, Kunitz O, Haaf von Below S, Wainwright U: ***AED's im Rettungsdienst: Ein 4-Jahres-Rückblick.*** Der Notarzt 2003, 19: 64-67

- Schöffski2002 Schöffski O, Schulenburg JM: **Gesundheitsökonomische Evaluationen**. Schöffski O, Schulenburg (Hrsg), Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2002
- Schwermann2003 Schwermann T, Pape HC, Grotz M, Blanke M, Greiner W, Tröger M, Stalp M, Schulenburg JM, Krettek C: **Einflussfaktoren auf die Überlebenswahrscheinlichkeit beim Polytrauma**. Gesundheitsökonomie & Qualitätsmanagement 2003, 8: 285-289
- Sefrin1985 Sefrin P: **Überlebenschancen des Notfallpatienten**. Fortschritte der Medizin 1985, 103: 290-294
- Sefrin1998A Sefrin P, Koppenberg J: **Treffgenauigkeit des Notrufes**. AINS 1998, 33: 653-660
- Sefrin1998B Sefrin P: **Kosten und Nutzen eines präklinischen Versorgungskonzeptes**. Gesundh.Ökon.Qual.Manag. 1998, 3: 63-68
- Smentek1997 Smentek U, Garms-Homolová V: **Verbesserung der Kommunikation bei der Notfallmeldung**. M 75, Bundesanstalt für Straßenwesen BaSt (Hrsg), Wirtschaftsverlag NW, Bergisch Gladbach, 1997
- Stellmacher1997 Stellmacher T: **Unfallanalytische Ableitung von Relevanzfaktoren und Verletzungsschwere-Wahrscheinlichkeiten**. Studienarbeit, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Kraftfahrzeuge, 1997
- TeleAid2005 [http://www.t-traffic.de/t\\_traffic/safety/mercedesbenzteleaid/](http://www.t-traffic.de/t_traffic/safety/mercedesbenzteleaid/), Download 2005
- Thierbach2003 Thierbach A, Maybauer M, Piepho T, Wolcke B: **Monitoring in der Notfallmedizin**. Notfall & Rettungsmedizin 2003, 6: 206-218
- Thierbach2004 Thierbach A, Pelinka L, Reuter S, Mauritz W: **Comparison of bystander trauma care for moderate versus severe injury**. Resuscitation 2004, 60: 271-277
- Valenzuela2000 Valenzuela T: **Outcomes of Rapid Defibrillation by Security Officers after Cardiac Arrest in Casinos**. New England Journal of Medicine 2000, 343: 1206-1209
- Westin2002 Westin LK: **Receiver operating characteristic (ROC) analysis**. Department of Computing Science, Umea University, Sweden, 2002

- Wik1994                      Wik L, Steen PA, Bircher NG: *Quality of bystander cardiopulmonary resuscitation influences outcome after prehospital cardiac arrests*. Resuscitation 1994, 28: 195-203
- Witten2001                  Witten IH, Frank E: *Data Mining*. Carl Hanser Verlag München Wien, 2001
- Zador1993                  Zador PL, Ciccone MA: *Automobile driver fatalities in frontal impacts: air bag compared with manual belts*. Am J Public Health 1993, 83: 661-666
- Zander2003                  Fander AG: *Alternative Sensierungskonzepte zur Seiten-crash-Erkennung*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 560, VDI-Verlag, Düsseldorf 2003
- ZVEI1999                    *Automatisches Notrufsystem - Positionspapier*. Zimmermann H (Hrsg), Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI), Frankfurt am Main, 1999

## Danksagung

Für die Bereitstellung ausgewählter Informationen aus der GIDAS-Datenbank zur Durchführung der Untersuchungen danke ich herzlich der TAKATA-PETRI AG. Mein Dank gilt insbesondere Herrn Ingo Kalliske, Herrn Martin Breuninger und Herrn Carsten Haase. TAKATA-PETRI ist als Hersteller von Insassenschutzsystemen Mitglied der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) und Förderer der German In-Depth Accident Study (GIDAS).





## Erklärung

Ich, Matthias M. Issing, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: *Telematik und Telemedizin zur Verbesserung der präklinischen Notfallversorgung nach Straßenverkehrsunfällen* selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

3. Oktober 2005

Matthias M. Issing

